

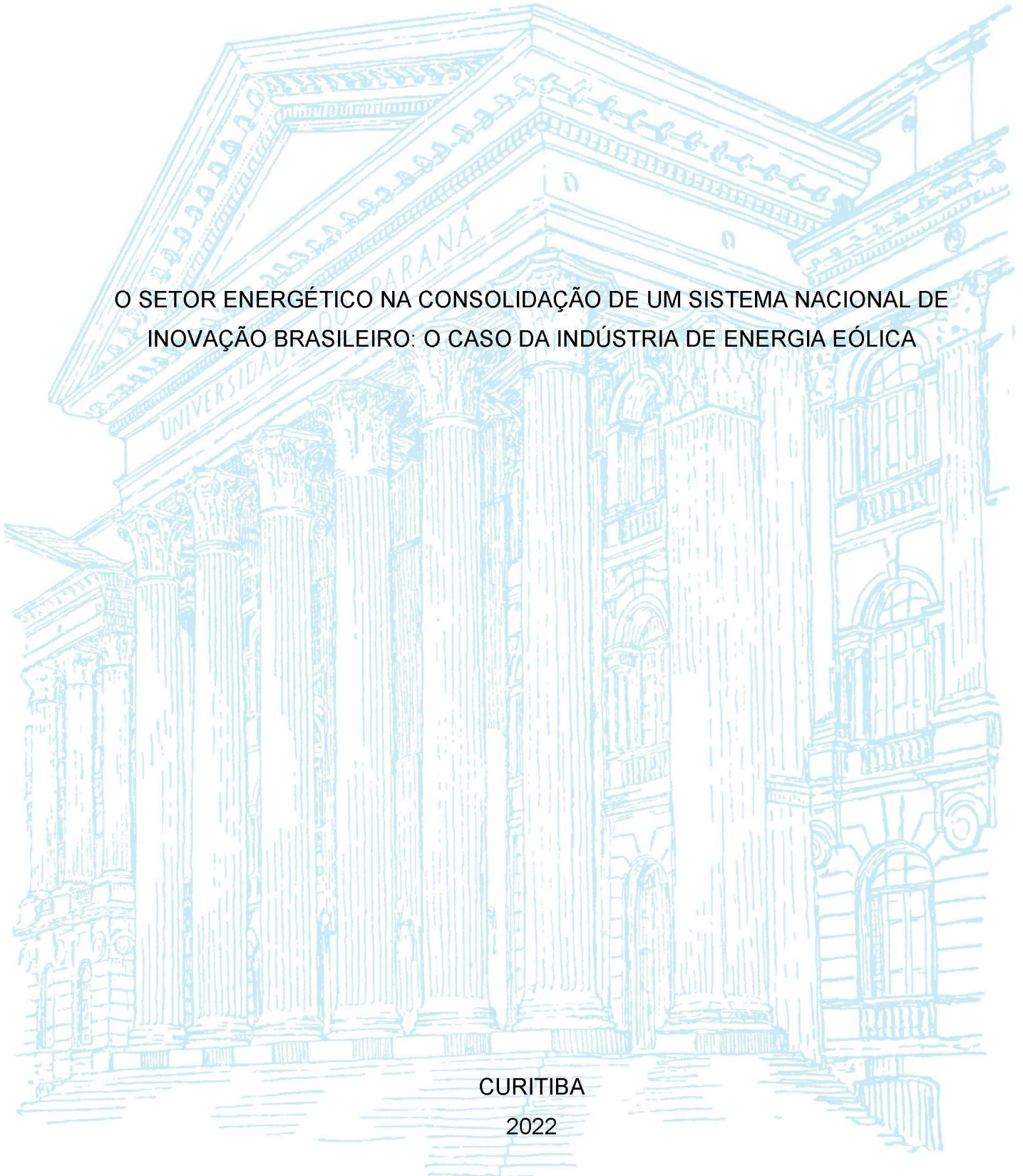
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MIRELLE BUENO DE SOUSA

O SETOR ENERGÉTICO NA CONSOLIDAÇÃO DE UM SISTEMA NACIONAL DE
INOVAÇÃO BRASILEIRO: O CASO DA INDÚSTRIA DE ENERGIA EÓLICA

CURITIBA

2022



MIRELLE BUENO DE SOUSA

O SETOR ENERGÉTICO NA CONSOLIDAÇÃO DE UM SISTEMA NACIONAL DE
INOVAÇÃO BRASILEIRO: O CASO DA INDÚSTRIA DE ENERGIA EÓLICA

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Walter Tadahiro Shima

CURITIBA

2022

TERMO DE APROVAÇÃO

MIRELLE BUENO DE SOUSA

O SETOR ENERGÉTICO NA CONSOLIDAÇÃO DE UM SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO BRASILEIRO: O CASO DA INDÚSTRIA DE ENERGIA EÓLICA

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Prof. Dr. Walter Tadahiro Shima

Orientador – Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Junior Ruiz Garcia

Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Luis Claudio Krajevski

Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 06 de maio de 2022.

Aos meus avós, que deram os valores realmente importantes aos meus pais, contribuindo na minha formação. Que vocês estejam felizes onde estiverem.

AGRADECIMENTOS

A universidade não é para todos e quando se cresce em uma comunidade carente as chances de concluir o ensino superior diminuem ainda mais. Por este motivo, agradeço de maneira especial este trabalho, como toda essa graduação à minha primeira professora: minha mãe, que foi a primeira pessoa a enxergar potencial em mim e acreditar que eu poderia ir além da escola de bairro onde eu estava, incentivando-me a oferecer sempre o meu melhor e não deixando que eu me abatesse pelo que os outros pensavam de mim e em especial, por me passar princípios para que me tornasse um ser humano que agrega ao local onde vivo.

Agradeço também à minha família de sangue - meu irmão, meu padrasto e meu pai - que sempre me deu suporte e me fez sentir confortável para que continuasse meus estudos sem me preocupar com questões financeiras e sem exigir mais do que eu poderia oferecer. Aos meus amigos que fui conquistando durante a vida, tanto os da faculdade, que trouxeram um “alívio cômico” em momentos de dificuldade e apoio nos estudos – quanto os do meu círculo de convivência, a Igreja, que além de compartilharem a fé comigo, compartilham momentos maravilhosos e me ajudam quando preciso, estando dispostos em qualquer circunstância, tanto lendo este extenso artigo quanto ouvindo minhas inseguranças.

Por fim, agradeço a todos os professores que passaram por minha vida. À professora que me alfabetizou, chamada Glacymara, que assim como a minha mãe, foi uma das primeiras a acreditar que aquela criança tão pequena poderia alçar voos mais altos, sempre exigindo o melhor de mim. Aos meus professores do Ensino Fundamental, Ensino Médio e Superior, que dedicam suas vidas não só a passar conteúdo, mas também a criar bons cidadãos, mesmo em circunstâncias tão difíceis. Agradeço por sua dedicação, generosidade e disponibilidade.

A todos vocês, o meu muito obrigada.

“Sê humilde para evitar o orgulho, mas voa alto para alcançar a sabedoria.”

(Santo Agostinho)

RESUMO

A economia capitalista é pautada em uma dinâmica concorrencial, onde a inovação é o fator responsável por transformar endogenamente todo o sistema. Nesta ótica evolucionista, os Sistemas de Inovação são estudados para entender como se dá o funcionamento e as interações entre instituições públicas e privadas para o desenvolvimento e difusão de novas tecnologias. O setor de energia apresenta-se, então, como um dos segmentos estratégicos dentro da economia global, por ser elemento essencial às atividades humanas, que tem potencial de se tornar mais produtivo e competitivo por meio de uma indústria energeticamente mais eficiente. Uma das fontes que se destaca é a energia eólica, por seu crescimento considerável e maior participação dentro da matriz energética. Por ser um setor que ainda tem um alto potencial de expansão e maturação, esta fonte pode ser uma das alternativas viáveis para a formação de um sistema de inovação brasileiro, sendo uma indústria que agrega muita tecnologia e conhecimento científico, por meio de incentivo aos atores públicos e privados para que impulsionem o desenvolvimento de laboratórios de pesquisa. Para este estudo, foram utilizados recursos bibliográficos que conceituam um sistema de inovação, contextualizam a composição das matrizes energéticas mundial e nacional e por fim, apresentam as características da indústria de energia eólica no mundo e no Brasil e seus principais desafios. Apesar de sua grande capacidade de geração, a energia eólica possui certas limitações dependendo de sua localidade e inconstância temporal, além de ser necessário um alto investimento inicial. Nesta perspectiva, o Brasil é um país que apresenta vantagens na produção de energia através dos ventos, por este motivo começou a atrair o interesse internacional, iniciando uma indústria local, com incentivos públicos e investimentos de empresas transnacionais.

Palavras-chave: Inovação. Sistema nacional de inovação. Matriz energética. Energias renováveis. Energia eólica.

ABSTRACT

The capitalist economy is based on a competitive dynamic, where innovation is the factor responsible for endogenously transforming the entire system. In this evolutionary perspective, Innovation Systems are studied to understand how the operations and interactions between public and private institutions take place for the actual development and diffusion of new technologies. The energy sector presents itself, then, as one of the strategic segments inside the global economy, as it is an essential element for human activities, which has the potential to become more productive and dynamic through a more energy efficient industry. One of the sources that stands out is wind energy, due to its considerable growth and greater participation within the energy matrix. As it is a sector that still has a high potential for expansion and maturation, this source can be one of the viable alternatives for the formation of a Brazilian innovation system, being an industry that adds a lot of technology and scientific knowledge, through incentives to the actors public and private sectors to promote the development of research laboratories. For this study, bibliographic resources were used that conceptualize an innovation system, contextualize the composition of the global and national energy matrices and, finally, present the characteristics of the wind energy industry in the world and in Brazil and its main challenges. Despite its large generation capacity, wind energy has certain limitations depending on its location and temporal inconsistency, in addition to requiring a high initial investment. In this perspective, Brazil is a country that has advantages in the production of energy through the winds, and for this reason it began to attract international interest, growing a local industry, with public incentives and investments from transnational companies.

Keywords: Innovation. National Innovation System. Energy matrix. Renewable energy. Wind Energy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PRINCIPAIS ATORES DO SISTEMA DE INOVAÇÃO BRASILEIRO...32

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL 2018	35
GRÁFICO 2 – MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL 2018	36
GRÁFICO 3 – MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA 2020.....	42
GRÁFICO 4 – MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA 2020	42
GRÁFICO 5 – DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO GLOBAL DO TOTAL INSTALADO.....	51
GRÁFICO 6 – NOVAS INSTALAÇÕES <i>ONSHORE</i>	53
GRÁFICO 7 – TOTAL INSTALADO <i>ONSHORE</i>	53
GRÁFICO 8 – PARTICIPAÇÃO DE MERCADO DOS DEZ MAIORES FABRICANTES	55

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

Aneel	- Agência Nacional de Energia Elétrica
BNB	- Banco do Nordeste do Brasil
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPES	- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq	- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CO2	- Dióxido de Carbono
C,T&I	- Ciência, Tecnologia e Inovação
FINEP	- Financiadora de Estudos e Projetos
FMI	- Fundo Monetário Internacional
FNDCT	- Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
GEE	- Gases de efeito estufa
GW	- Gigawatt
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA	- International Energy Agency
KW	- Kilowatts
KWh	- Kilowatts hora
m/s	- Metros por segundo
MW	- Megawatts
MWh	- Megawatts hora
OCDE	- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
P&D	- Pesquisa e Desenvolvimento
P,D&I	- Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PIB	- Produto Interno Bruto
PNP	- Plano de Nacionalização Progressiva
PROINFA	- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SIN	- Sistema Interligado Nacional
SNI	- Sistema Nacional de Inovação
SSI	- Sistema Setorial de Inovação
TJ	- Terajoule

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
1.2	METODOLOGIA.....	18
2	SISTEMAS DE INOVAÇÃO: INSTRUMENTO PARA O PROGRESSO DAS NAÇÕES.....	20
2.1	INOVAÇÃO: REVOLUÇÃO DA ESTRUTURA ECONÔMICA A PARTIR DE DENTRO.....	20
2.2	A INOVAÇÃO COMO UM SISTEMA.....	23
2.3	SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO: INSTRUMENTO DE INTERVENÇÃO DO ESTADO	25
2.4	OS SISTEMAS DE INOVAÇÃO COMO FERRAMENTA DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO	28
2.5	A FORMAÇÃO DO SISTEMA DE INOVAÇÃO BRASILEIRO E SEUS GARGALOS	30
3	COMPOSIÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA: DESDOBRAMENTOS EM BUSCA DE FONTES RENOVÁVEIS.....	34
3.1	A MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL DENTRO DO PARADIGMA TECNOLÓGICO.....	34
3.1.1	Oferta e demanda global por energia e o problema da oferta mundial.....	36
3.1.2	A predominância do petróleo e os desdobramentos para o uso de fontes alternativas dentro do setor energético	37
3.1.3	A ascensão das fontes de energia complementares à fonte dominante.....	38
3.2	A FORMAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: UM EXEMPLO A SEGUIR NA ADOÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS	41
4	A ENERGIA EÓLICA COMO FERRAMENTA DE INOVAÇÃO NA ECONOMIA BRASILEIRA.....	45
4.1	A ENERGIA EÓLICA COMO ALTERNATIVA ÀS FONTES CONVENCIONAIS	45
4.2	A COMPOSIÇÃO DOS AEROGERADORES E A VIABILIDADE DE UM PROJETO EÓLICO.....	46

4.3	A ENERGIA EÓLICA EM PERSPECTIVA MUNDIAL.....	50
4.3.1	Os principais países produtores no mercado de energia eólica	52
4.3.2	A participação das empresas na indústria eólica no cenário mundial.....	54
4.4	A ENERGIA EÓLICA PELA LENTE NACIONAL: HISTÓRIA E PERSPECTIVAS.....	56
4.5	A INDÚSTRIA DE ENERGIA EÓLICA NA FORMAÇÃO DE UM SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO BRASILEIRO.....	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A economia capitalista passa por constantes transformações, movimentando-se por ciclos que mudam as diretrizes que regem a sociedade, por este motivo, pode-se compreender que é um processo evolutivo, pautado na introdução e difusão de inovações, sendo resultado, segundo o pensamento de Joseph Schumpeter, de fatores endógenos ao sistema que leva a esse dinamismo (POSSAS, 2002, p. 415,418). É deste ambiente competitivo que a economia capitalista se desenvolve, impulsionada por um conjunto de inovações que criam novos hábitos de consumo e mudam a visão das instituições, sendo algo que não pode ser previsto, pois é dependente da trajetória, da interação de forças que agem no mercado (FUCK e VILHA, 2012).

Entendendo que o ambiente econômico é dinâmico e está em constante evolução, a inovação, apesar de ter uma perspectiva de rivalidade, é também muito associada à interação, pois hoje as instituições veem a comunicação e intercâmbio de informações como mais proveitoso ao desenvolvimento econômico e crescimento enquanto sociedade do que um antagonismo que visa apenas que alguns alcancem características monopolistas. Nesta perspectiva, surge o conceito de Sistemas de Inovação que, como define SBICCA e PELAEZ (2006, p. 417), é “um conjunto de instituições públicas e privadas que contribuem nos âmbitos macro e microeconômico para o desenvolvimento e a difusão de novas tecnologias”. Um sistema tem como particularidade a conexão de elementos, já a inovação, em si, rompe endogenamente o sistema econômico, “revolucionando as estruturas produtivas e criando fontes de diferenciação para as empresas” (HASENCLEVER e FERREIRA, 2002, p. 129). Esse sistema é marcado pela interação dos agentes públicos e privados, estes últimos exemplificados pelas firmas inovadoras, que produzem a dinâmica do sistema.

Diante disso, um ambiente econômico de grande relevância nacional e mundial, que vem se tornando cada vez mais competitivo devido à propagação de fontes alternativas é o setor de energia, essencial ao desenvolvimento econômico, pois é, e sempre foi, necessária a humanidade a utilização de alguma forma de energia para o estabelecimento de todas as atividades que permeiam a sobrevivência humana. Quando se fala em energia, a mais popular e utilizada é a energia elétrica, que é um dos elementos triviais na atividade industrial e,

consequentemente, para o crescimento econômico. Na visão dinâmica abordada, o setor elétrico deve tornar-se mais produtivo e competitivo por meio de uma indústria energeticamente mais eficiente, sendo viável através de projetos de eficiência energética ou o uso de energias renováveis (Panorama de energias renováveis, 2016, p. 11).

Deste modo, o setor de energia elétrica é um dos potenciais redutores da emissão de dióxido de carbono, pois possui uma transição tecnicamente viável, desde que as medidas corretas, como políticas públicas, sejam adotadas. Segundo os autores Sims e Herbert et al, (in MACEDO, ALBUQUERQUE e MORALLES, 2017, p.733), uma solução viável e que já vem sendo desenvolvida é a adoção do uso de energia de fontes livres de carbono, mais especificamente pelas fontes renováveis, que possuem custo zero de combustível. Entretanto, deve-se destacar que os recursos renováveis encontram limitações biológicas, pois dependendo de sua localização, não estão disponíveis a todos, demandam um tempo de crescimento e desenvolvimento e estão suscetíveis a questões ambientais. Por ser um recurso de estoque não necessariamente fixo, as dinâmicas biológica e econômica podem não ser compatíveis, assim as fontes de energia advindas de recursos renováveis ainda precisam ser tratadas como complementares à matriz energética dominante, já que ainda não estão disponíveis em larga escala (SANTOS et al, 2006, p.1-2).

Neste contexto de adesão de fontes renováveis de energia, o Brasil apresenta certo destaque quanto à sua utilização, devido à sua vasta extensão territorial e disponibilidade de recursos, embora existam barreiras quanto ao custo de geração. Com essa disponibilidade e mudança de paradigma mundial, que busca o desenvolvimento econômico atrelado à preservação ambiental, o Brasil passa, nas últimas décadas, a adotar políticas de expansão energética que visam diversificar sua matriz de fontes de energia, passando o sistema por um processo de adaptação (PINTO, MARTINS e PEREIRA, 2017, p. 1083,1084).

Dentro do setor elétrico, a energia eólica, gerada a partir dos ventos, merece destaque, pois representa 8,9% das outras fontes energéticas que não a hidráulica, ficando atrás apenas do gás natural (EPE, 2020). Apesar de sua grande capacidade de geração de energia, a fonte eólica possui certas limitações dependendo de sua localidade e inconstância temporal, já que a área e a disposição dos sistemas de alta e baixa pressão atmosférica pode variar a produção total dependendo das

características locais, além de ser necessário um alto investimento inicial (MACEDO, ALBUQUERQUE e MORALLES, 2017, p.735). Além disso, essa cadeia de produção ainda precisa ser estimulada, principalmente por meio da inovação que, com sua trajetória tecnológica, trará um possível aumento da competitividade deste setor, diminuindo os custos, visando a eficiência energética e consolidando essa indústria na construção de um sistema inovativo nacional (MELO, 2013, p.131-132).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar se o setor de energia eólica, ainda que imaturo, contribui para a formação de um Sistema de Inovação brasileiro, em um contexto de mudança de paradigma técnico-econômico.

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver a ideia de sistemas de inovação, seus principais conceitos e os principais atores dentro de um sistema setorial e nacional de inovação;
- Investigar a composição das matrizes energéticas mundial e brasileira, concentrando-se nas fontes de energias renováveis do setor elétrico;
- Analisar o desenvolvimento de um sistema setorial em energia eólico no Brasil, em um contexto de mudança de paradigma.

1.2 METODOLOGIA

A metodologia a ser aplicada nesta pesquisa baseia-se em recursos bibliográficos, como artigos científicos, encontrados em sites acadêmicos de pesquisa (SciELO e Google Acadêmico), revistas especializadas, teses, dissertações e livros no campo das Ciências Econômicas e meio ambiente, especificamente na área de economia industrial, inovação, economia de energia, fontes de energias renováveis e energia eólica.

Como fundamento do estudo, os autores utilizados são aqueles que melhor desenvolveram e estudaram os conceitos relacionados ao Sistema Nacional de

Inovação, essencialmente Christopher Freeman, Richard Nelson e Bengt-Åke Lundvall, este último, especialmente sendo estudado os conteúdos referentes ao sistema setorial de inovação. Além das obras destes, são explorados trabalhos de outros autores que os referenciaram e que estão relacionados ao tema aqui proposto.

Como segundo ponto, para atender aos objetivos listados, são empregados materiais bibliográficos referentes à composição das matrizes energéticas mundial e brasileira, por meio de trabalhos realizados - e disponibilizados - pela *International Energy Agency* (IEA) e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) - no campo internacional -, bem como pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Ministério de Minas e Energia (MME) e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) - no campo nacional.

Estas organizações e agências citadas acima serão também fontes das informações necessárias ao trabalho, como dados referentes à participação das fontes renováveis na composição da matriz energética, emissões de gases de efeito estufa, geração de energia, além de informações que dizem respeito ao planejamento energético, como custos de investimentos, operacionais e de transmissão e capacidade instalada. Estas variáveis posteriormente serão concentradas no que se refere à indústria de energia eólica, sendo devidamente arquivadas e catalogadas através da utilização dos programas Excel e Word.

Em paralelo, são levantados dados encontrados no Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e no Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) que apresentam a posição e o quanto o Brasil precisa evoluir em relação à CT&I, usando variáveis como investimento em P&D em relação ao PIB, produção científica, patentes, entre outros.

Por fim, a bibliografia e informações referente à indústria de energia eólica, além de estar disponível nos sites e artigos das instituições acima citadas, serão colhidas e estudadas essencialmente por meio da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), afora alguns autores que publicaram artigos referentes aos temas de energias renováveis e do setor de energia eólica, como pesquisadores da Fundação Getúlio Vargas e Elbia Melo, esta última da associação recém nomeada. Desta forma, é possível a análise e interpretação dos dados coletados para a construção da pesquisa e alcance dos objetivos estabelecidos.

2 SISTEMAS DE INOVAÇÃO: INSTRUMENTO PARA O PROGRESSO DAS NAÇÕES

O presente capítulo tem por objetivo apresentar a importância de um sistema de inovação para a formação de uma nação. Em seu desenvolvimento, primeiro é apresentada a explicação dos termos que compõem o assunto estudado, depois é feita a associação entre eles. No terceiro tópico, é possível analisar a importância do setor público, privado e das instituições de ensino e pesquisa no progresso de um país, para o alcance do desenvolvimento tecnológico, essa abordagem também é feita dentro do sistema nacional, entre os setores e suas relações. Por fim, é feita uma breve análise de como o sistema de inovação brasileiro foi formado e se encontra atualmente.

2.1 INOVAÇÃO: REVOLUÇÃO DA ESTRUTURA ECONÔMICA A PARTIR DE DENTRO

A economia capitalista passa por constantes transformações, movimentando-se por ciclos que mudam as diretrizes que regem a sociedade, por este motivo, pode-se compreender que é um processo evolutivo, pautado na introdução e difusão de inovações, sendo resultado, segundo o pensamento de Joseph Schumpeter, de fatores endógenos ao sistema que leva a esse dinamismo (POSSAS, 2002, p. 415,418). Nesta visão evolucionária, adotada pelos posteriores seguidores da linha deste economista, o espaço econômico é um ambiente de concorrência e seleção, onde as firmas estão em permanente busca pela diferenciação, não para apenas eliminar suas concorrentes, mas pensando na criação de diferenças, na “destruição criativa”, que destrói e cria continuamente, em um processo de procura sempre por um diferencial que impulse a empresa à frente das outras, mesmo que seja temporariamente. É deste ambiente competitivo que a economia capitalista se desenvolve, impulsionada por um conjunto de inovações que criam novos hábitos de consumo e mudam a visão das instituições, sendo algo que não pode ser previsto, pois é dependente da trajetória, da interação de forças que agem no mercado (FUCK e VILHA, 2012).

A inovação, então, mostra-se como o fator que determina tanto a competitividade como o desenvolvimento, ao ser estendido o pensamento iniciado

com Schumpeter, Richard Nelson e Sidney Winter (*in* SILVEIRA e CARVALHO *et al*, 2016, p. 510) entendem que a competição tecnológica pode ser tratada como o “motor do desenvolvimento econômico”, por este motivo os países passam a incluí-la em sua agenda política como elemento de destaque, que propicia às nações saírem à frente das outras e mudarem todo o funcionamento do sistema capitalista.

Bengt-Åke Lundvall (*in* NEUBERGER e MARIN, 2013, p. 4), importante teórico da linha que estuda a inovação, apresenta que, diferentemente da corrente convencional econômica, pautada nos ideais neoclássicos de que a oferta e demanda equilibram-se até atingirem um ponto ótimo, a teoria evolucionária entende que o ambiente econômico não é linear e estático, mas sim, dinâmico e dependente da interação entre os agentes. Essa comunicação, na realidade, trata-se de uma relação de interdependência, em que as instituições necessitam umas das outras para disseminar o conhecimento e assim evoluir nos processos de aprendizagem e inovação. Deste modo, é uma corrente muito mais pautada em mecanismos de *feedback*, onde a história mostra-se como elemento fundamental para a compreensão de como se desenvolve a economia como um todo e quais são as variáveis presentes na sociedade que interferem no progresso técnico e tecnológico, sendo um pensamento, que tanto Nelson como Freeman concordam, que deve integrar a teoria à história (LUNDVALL, 1999, p. 72).

Quando se fala em inovação, um dos principais autores a ser citado é Joseph Schumpeter, que trouxe o conceito como elemento essencial ao desenvolvimento, sendo o empresário o grande responsável por trazer estas “novas combinações” ao mercado. Aqui, deve-se entender a inovação não necessariamente como uma “invenção”, mas como novos processos ou produtos que são inseridos no mercado, por exemplo (LUNDVALL, 2005, p. 08). Estas inovações são, então, o cerne da “destruição criativa”, ou seja, ao mesmo tempo em que destrói os processos ou organizações que existiam anteriormente, criam novos elementos mais sofisticados, por meio de mecanismos de *feedback*, aprendendo com o processo de fazer, possibilitando que a máquina capitalista esteja em constante mutação, “revolucionando a estrutura econômica a partir de dentro, incessantemente destruindo a velha, incessantemente criando uma nova” (*in* FUCK e VILHA, 2012, p. 6).

Estas novidades não precisam ser necessariamente apenas de natureza radical - intrinsecamente relacionadas às atividades de pesquisa e desenvolvimento

(P&D) -, podem ser também incrementais, aperfeiçoando elementos graduais a modelos produtivos já existentes, não mudando a essência do processo, apenas trazendo melhor produtividade ou menores custos. Tendo isso em mente, Fuck e Vilha (2012, p. 7, 8) apresentam a existência de basicamente quatro tipos de inovação, sendo elas: as inovações mercadológicas, que relacionam-se aos aspectos físicos dos produtos, como embalagem ou precificação, isto é, às estratégias de *marketing* e de seu posicionamento no mercado; as inovações organizacionais que, como o próprio nome diz, trata-se da “implementação de novos métodos de organização e gestão das práticas de negócio da empresa, na organização do seu local de trabalho ou em suas relações com atores externos”; as inovações tecnológicas, estas sendo as mais destacadas quando se fala em inovação, pois compreende-se que este conceito está intimamente ligado à tecnologia - aqui fala-se propriamente das inovações de produtos ou processos produtivos com o emprego de tecnologia, trazendo novidades ao mercado ou dentro da própria firma -; e por fim, as inovações de processo, onde dentro da própria empresa há mudanças no modo de produzir, como por exemplo, a robotização na linha de fabricação ou quando se iniciou o modelo de produção por escala.

Com o crescimento da importância da inovação nas agendas políticas, o conceito antes difundido por Schumpeter, adquire características mais bem estruturadas e evolui de acordo com os aspectos sociais e com o momento histórico vivido. A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), expressa que a inovação nada mais é do que a transformação de uma ideia, seja na forma de um novo produto, novo processo ou até mesmo uma nova ordenação social (JACOSKI e DALLACORTE et al, 2014, p. 73), essa renovação é feita de forma contínua, não sendo algo que ocorre de maneira isolada, sem estar relacionada a toda a esfera organizacional da empresa.

Deste modo, Lundvall (2005, p. 4) destaca que as práticas inovativas são entendidas como um processo cumulativo, que é “resultado dos esforços feitos ou como um efeito colateral das atividades em andamento”, assim, está atrelado ao que se chama na economia de *path-dependence*, isto é, dependente do caminho, daí surge a relevância do conhecimento e da aprendizagem como elementos fundamentais do processo inovativo. Esse aprendizado pode ocorrer por meio das operações de produção, quando se aprende com a forma como algo é produzido, chamado de *learning-by-doing*, “do aumento da eficiência do uso de sistemas

complexos (*learning-by-using*) e do envolvimento entre usuários e produtores, resultando em inovações de produto (*learning-by-interacting*)” (SBICCA e PELAEZ, 2006, p. 419).

Sintetizando essa ideia, Lundvall (2005, p. 12) mostra que a inovação é, na realidade, “reflexo da aprendizagem interativa”, estando o termo intimamente atrelado à interação, pois está em conexão com as demais atividades do processo de produção e comercialização, como exemplo pode ser citado a inovação de produtos, que vem das necessidades e demandas do consumidor final. Essa comunicação, tanto dentro do processo produtivo, quanto com fontes externas, faz com que as firmas sempre busquem inovar, sendo este um fator fundamental para manter a competitividade no mercado, visto que tanto a melhoria de produtos e serviços, quanto a redução de custos e de tempo, fazem com que a empresa adquira maior visibilidade e consiga obter fatias maiores de mercado, aumentando seu lucro e sua estabilidade no ambiente econômico (SILVEIRA e CARVALHO *et al*, 2016, p. 509).

2.2 A INOVAÇÃO COMO UM SISTEMA

Esta interatividade é, portanto, inerente ao ambiente dinâmico. Não apenas as firmas inovam para obter êxito e alcançar maior visibilidade, como também todo o ecossistema exige uma competitividade, sobrevivendo aquelas que se adequam melhor às mudanças. Por ter esta característica de comunicação entre atores e entre o conhecimento, usa-se o termo “sistema” para mostrar que a inovação está inserida em uma rede de interação, como diz Lundvall (1999), as condições de oferta e demanda não são, na realidade, a força motriz que impulsiona o processo inovativo, mas sim, os *feedbacks* que o mercado gera interagindo com a criação de conhecimento e com iniciativas empreendedoras, estas estando do lado da oferta.

A partir destes dois conceitos surge o termo “sistemas de inovação” que, segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

rests on the premise that understanding the linkages among the actors involved in innovation is key to improving technology performance. Innovation and technical progress are the result of a complex set of relationships among actors producing, distributing and applying various kinds of knowledge (OECD, 1997, p. 9).

Esses atores podem ser englobados em três áreas: setor público, empresas privadas e institutos de pesquisa. Estes agentes travam relações de produção, distribuição e aplicação do conhecimento, que pode ser expresso na forma de intercâmbio de pessoal, patentes, compra de equipamentos e pesquisa conjunta, tendo essa característica de interdependência que caracteriza um sistema (OECD, 1997, p. 9).

Christopher Freeman e Lundvall (*in* NEUBERGER e MARIN, 2013, p. 3) foram dois dos principais pensadores na linha dos sistemas de inovação e ambos ressaltam a importância que teve Friedrich List para a elaboração do conceito, pois este, já muito antes, falava sobre a importância de proteger as indústrias nascentes de uma nação, bem como criar políticas que viabilizassem a industrialização e o crescimento econômico. Isso mostra que a preocupação com novas tecnologias que trouxessem o desenvolvimento para os países já era algo discutido anteriormente e que foi mais bem estabelecido na teoria econômica.

O que fundamenta o sistema de inovação é o fato de empresas, organizações e instituições de pesquisa, bem como o setor público, não agirem isoladamente, mas estarem em uma rede, onde é necessária a interação destes membros para que a inovação seja manifestada por meio de um fluxo de conhecimento e aprendizagem (SILVEIRA e CARVALHO *et al*, 2016, p. 510). Portanto, a relevância desse sistema está na sua capacidade de assegurar essa comunicação entre os inovadores, sendo o resultado de “numerosas interações de uma comunidade de atores e instituições que influenciam o desempenho das empresas e das economias” (NEUBERGER e MARIN, 2013, p. 4).

Destaca-se a importância do conhecimento e da aprendizagem neste estudo, pois os sistemas de inovação buscam analisar como ambos os conceitos evoluem, tendo eles papéis estratégicos no ambiente econômico (NEUBERGER e MARIN, 2013, p. 4). Lundvall (2005, p. 28) apresenta que os processos de aprendizagem - aqui entendida como o acesso a informações sobre o mundo - são as condições básicas para a inovação, porque para que uma empresa inove é preciso que primeiramente conheça os processos e remova “a ignorância”, que o autor cita usando o termo “falta de liberdade”, que significa não ter a liberdade de agir e tomar decisões de maneira capaz no ambiente econômico por não ter o conhecimento necessário. Deste modo, é possível que a empresa crie a partir do que já conhece, interagindo com diferentes organizações que possibilitem o

aumento do grau de diferenciação, como resultado dessa aprendizagem surge o conhecimento técnico e organizacional na economia.

Dentro desse sistema, entretanto, é preciso que exista uma métrica para que seja avaliado o nível de inovação e de intercâmbio de informação em um ambiente econômico. A OCDE (OECD, 1997, p. 7) expõe que nos sistemas de inovação existem basicamente quatro tipos de fluxo de conhecimento, sendo eles:

- 1) interactions among enterprises, primarily joint research activities and other technical collaborations;
- 2) interactions among enterprises, universities and public research institutes, including joint research, co-patenting, co-publications and more informal linkages;
- 3) diffusion of knowledge and technology to enterprises, including industry adoption rates for new technologies and diffusion through machinery and equipment; and
- 4) personnel mobility, focusing on the movement of technical personnel within and between the public and private sectors (OECD, 1997, p. 7).

Portanto, é por meio desta interação entre as organizações e instituições dos setores públicos e privados que as inovações são difundidas, tendo a possibilidade de modificar as tecnologias e processos existentes, essa intercomunicação é o que compõe um sistema e o que determina se um Sistema Nacional de Inovação já atingiu um nível de maturidade (SILVEIRA e CARVALHO *et al*, 2016, p. 507).

2.3 SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO: INSTRUMENTO DE INTERVENÇÃO DO ESTADO

Entendendo que o sistema de inovação engloba atores de diferentes esferas que estão em uma relação de interdependência, Sbicca e Pelaez (2006, p. 417) apontam que há uma contribuição tanto macro quanto microeconômica, isto significa que este sistema é um instrumento de intervenção importante para as nações, através do qual “os governantes de um país podem criar e implementar políticas de Estado a fim de influenciar o processo inovativo de setores, de regiões ou mesmo de nações”.

Nessa abordagem evolucionista, um governo nacional entende que para que um país tenha progresso tecnológico e, conseqüentemente, crescimento econômico, não basta que existam inovações individuais, é preciso focar nos processos sistêmicos, pois uma economia é formada por diversas instituições que se envolvem complexamente, sendo essencial compreender as relações que se estabelecem entre elas. O desempenho de uma nação com relação à inovação depende do

relacionamento entre esses atores e de como eles utilizam a tecnologia que têm disponível. Quando se fala de sistemas de inovação em um sentido nacional, destaca-se que a esfera mundial é um ambiente de grande concorrência, onde os países competem entre si. O intercâmbio de conhecimento e a competitividade estão relacionados à tecnologia, habilidade técnica e capacidade de inovar, sem desconsiderar as peculiaridades e atores políticos e econômicos de cada país (SILVEIRA e CARVALHO *et al*, 2016, p. 507). Devido a estas particularidades, é muito difícil que as formas institucionais de um sistema nacional sejam transferido para outro, pois cada nação possui a sua história, uma formação econômica própria e diferentes condições sociais, assim um modelo individual precisa ser pensado para cada uma, podendo tomar como base modelos de sucesso, mas considerando as características de cada uma (LUNDVALL, 1999, p. 63).

Dentro do Sistema Nacional de Inovação (SNI) está inserido o Sistema Setorial de Inovação (SSI), que surge como intermediário ao primeiro. Schumpeter cita a abordagem através de setores quando considera que a atividade produtiva está dentro de uma perspectiva de diferentes setores industriais, que se arranjam de distintas maneiras em um mesmo ambiente competitivo. Esse estudo por setores deve-se à divisão e especialização do trabalho, que fez com que a economia se dividisse em categorias com características semelhantes, especializadas em determinado tipo de produção. Do mesmo modo que o SNI, mas em um campo específico, o SSI também tenta entender como se dá a interação entre os agentes em um sistema, com a relação entre diferentes setores ou dentro de um mesmo setor. Assim, ambos os conceitos se complementam, buscando atingir o domínio de tecnologias e conhecimento, através da comunicação entre atores, redes e instituições. Resumidamente, o “SSI descreve analiticamente diferenças e similaridades na estrutura, na organização e no limite entre os setores, buscando identificar o que afeta a inovação, o desempenho e a competitividade entre países nos diferentes setores” (SILVEIRA e CARVALHO *et al*, 2016, p. 511 e 512), para que assim seja possível estabelecer quais as melhores políticas públicas a serem adotadas.

A compreensão do ecossistema competitivo dentro de um Sistema Setorial de Inovação não se dá apenas pela concorrência de empresas que estão dentro de um mesmo setor, mas essa competitividade também se deve às relações entre consumidores e fornecedores, que tentam adquirir o melhor resultado e preço para

si e às ameaças de novos entrantes no mercado. Dentro deste ambiente, os atores, as instituições, as redes e o conhecimento são os elementos que formam um sistema de inovação por meio de setores. Os atores, entendidos como empresas, organizações governamentais e instituições de ensino e pesquisa, conectam-se por meio de redes, por onde há o fluxo de conhecimento e tecnologia, essa transferência se dá através de alianças estratégicas entre diferentes empresas ou consultorias e pesquisa colaborativa entre firmas e instituições (PFITZNER, SALLES-FILHO e BRITTES, 2014, p. 465).

Pfitzner, Salles-Filho e Brittes (2014, p. 466) ressaltam também o papel das instituições nos setores, por estas serem as responsáveis pela formulação de regras que regem esse ambiente - criando leis e políticas que propiciam uma melhor interação entre os atores -, bem como impulsionam a inserção de empresas no comércio internacional. Quando se fala particularmente das empresas, nota-se que muitas delas têm processos produtivos similares e por isso também têm trajetórias tecnológicas em comum, assim pode-se agrupar as firmas em categorias com características semelhantes, que Campos e Ruiz (2009, p. 171) subdividem em: 1) setores dominados por fornecedores; 2) setores de produção intensiva e 3) setores baseados na ciência. Sendo assim, ações de determinadas instituições favorecem o desenvolvimento de sistemas inovativos em alguns setores mais do que em outros, dependendo dos objetivos destas instituições e da necessidade do ambiente econômico setorial.

Com isso, os resultados obtidos em um Sistema Setorial de Inovação são de que os setores mais inovativos, comparativamente, são aqueles que mais investem em fontes de inovação, pois quanto maior a dedicação de recursos, maior a obtenção de resultados. Da mesma forma, esses setores que mais investiram são também os que deram maior relevância às variáveis de aprendizagem e conhecimento, resultando em setores que registram as maiores oportunidades tecnológicas, pois têm maior conteúdo relacionado à tecnologia e mais inovações (CAMPOS e RUIZ, 2009, p. 197). Portanto, Pfitzner, Salles-Brito e Brittes (2014, p. 466) apontam que a relação existente entre os setores e entre os atores dentro deste sistema, trazem benefícios como: uma maior formação de mestres e doutores e novos núcleos e centros de pesquisa e laboratórios, estes surgem da necessidade de estudo sobre a inovação, gerando conhecimento e aprendizagem que agregue ao sistema; nascimento de empresas *spin-offs* de base tecnológica; constituição de

novos fabricantes nacionais e elevação do Produto Interno Bruto (PIB) pelo incremento nas exportações. Por último, vale destacar a presença do capital estrangeiro - que entra como uma fonte externa de inovação, principalmente sob a forma de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) -, que em setores onde é aplicado no controle das empresas, estes tendem a intensificar os esforços para conseguir mais resultados inovativos (CAMPOS e RUIZ, 2009, p. 201).

2.4 OS SISTEMAS DE INOVAÇÃO COMO FERRAMENTA DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

Os conceitos de inovação e sistemas de inovação, tanto nacional quanto setorial foram desenvolvidos ao decorrer dos anos como forma de analisar os países e suas economias, principalmente de países menos desenvolvidos. O já citado autor Friedrich List foi o pioneiro nas ideias básicas que fundamentam o que foi estudado até o momento, ao criar o termo “sistemas nacionais de produção”, que foi uma crítica ao pensamento dominante de Adam Smith, em que era a “mão invisível” do mercado a responsável por alocar os recursos, não sendo necessária uma grande preocupação para resolver os problemas econômicos. List (*in* LUNDVALL, 2005, p. 26) enfoca seu estudo no desenvolvimento das forças produtivas, dando grande relevância às instituições, especialmente aquelas ligadas à educação e formação e às instituições de infraestrutura, responsáveis pelo transporte de pessoas e mercadorias.

Embora o conceito de sistemas nacionais de inovação tenha sido aprimorado em países mais ricos, muitas das ideias mais importantes vieram de estudos sobre o desenvolvimento em países mais pobres (LUNDVALL, 2005, p. 26), pois como cita Carlota Perez (*in* NEUBERGER e MARIN, 2013, p. 8), o mundo passa por constantes “ondas de desenvolvimento” ao decorrer da história, como consequência de diversas revoluções técnicas e tecnológicas, que mudam o modo como se produz e a forma organizacional da sociedade e das empresas, trazendo mudanças de paradigmas, assim os países menos desenvolvidos podem aproveitar esses momentos para alcançarem os países já desenvolvidos. Este processo é chamado de *catching-up* e acontece porque em períodos de grandes revoluções, “janelas de oportunidade” são abertas e os países adquirem produtividade mais alta que acaba escoando para os países menos avançados economicamente, estes

acabam então por terem maiores chances de acessar tecnologias mais avançadas, trazendo inovação para suas economias e, conseqüentemente, maior desenvolvimento.

A teoria de List foi desenvolvida em um período que a Alemanha passava por esse processo de *catching-up* no começo do século XIX, tentando alcançar as economias mais avançadas, para ele, o desenvolvimento econômico teria estímulo através de uma acumulação de “capital mental”, que aconteceria pela formação de instituições bem consolidadas e também de uma infraestrutura que propiciasse a geração de capital humano e capaz de absorver as novidades tecnológicas. Para isso, o governo seria essencial para promover essa infraestrutura tecnológica (LUNDVALL, 2005, p. 26), sendo o órgão responsável por impulsionar a produção e distribuição da tecnologia através de políticas públicas, bem como promover a redução dos custos de transação na economia. Como citado anteriormente, em um sistema de inovação entende-se que há a relação de três principais atores: o setor público, setor privado e os laboratórios de pesquisa e ensino. Nesta comunicação, o Estado, figura que representa o setor público, é o encarregado de viabilizar investimentos para que o setor privado possa desenvolver as inovações, pois como diz Schumpeter, é o empresário - entendido nas firmas inovadoras - a força motriz que faz a máquina capitalista se movimentar, “ele é central em estabelecer diretrizes, regulamentar, planejar e executar projetos de infraestrutura”. Portanto, o governo precisa criar um ambiente institucional que favoreça o aparecimento de inovações, assim as empresas podem investir mais nesse elemento, já que têm um ecossistema adequado que não traga inseguranças (SILVEIRA e CARVALHO et al, 2016, p. 508).

Além dos setores público e privado, destaca-se a importância das universidades e dos laboratórios de pesquisa, pois é nestes centros que novos produtos ou processos são desenvolvidos ou melhorados. Esses atores dependem do ambiente institucional proporcionado pelo governo, especialmente pelo investimento público e infraestrutura, como laboratórios bem equipados, para desenvolver tecnologias, como também têm uma comunicação forte com as empresas, ao receberem investimentos privados e ser o ambiente onde suas novas ideias são realmente aplicadas, e estas últimas dependem do Estado através da legislação - especialmente de ciência e tecnologia - que este estabelece, levando a que o sistema seja uma rede onde cada um dos atores têm uma relação de

interdependência, visando o desenvolvimento local e nacional (NEUBERGER e MARIN, 2013, p. 6). Essa comunicação é tão relevante que até mesmo o Fundo Monetário Internacional (FMI) afirma que as instituições são a “raiz” do desenvolvimento econômico e têm um papel central para o crescimento das nações (LUNDVALL, 2005, p. 28).

Entretanto, é necessário analisar particularmente cada país, onde já se alcançou um alto desenvolvimento, é nítido que as instituições têm um alto grau de interação, relacionando-se mais facilmente umas com as outras. O artigo da OCDE (OECD, 1997, p. 13) aponta que “um número de políticas estruturais relacionadas a regulamentos, impostos, financiamento, concorrência e a propriedade intelectual pode facilitar ou bloquear os vários tipos de interações e fluxos de conhecimento”. Assim, é fator fundamental conhecer o contexto em que um país está inserido, para que se planeje as políticas governamentais de tecnologias e inovação adequadas, não há como pegar um modelo que deu certo anteriormente e tentar inserir em um país que começa a passos lentos a desenvolver seu sistema nacional de inovação sem considerar suas particularidades, pois as novidades técnicas e tecnológicas precisam se adequar ao ambiente industrial e ao momento histórico e institucional em que se está inserido.

2.5 A FORMAÇÃO DO SISTEMA DE INOVAÇÃO BRASILEIRO E SEUS GARGALOS

Ao considerar um processo de *catching-up*, o Brasil é um dos países que busca adotar algumas das políticas utilizadas em países já desenvolvidos para incentivar o desenvolvimento de tecnologias e a formação de um sistema de inovação de caráter nacional, entretanto, devido ao seu processo tardio, encontra-se muito atrás de países ricos que atingiram maturidade em seu SNI. A industrialização brasileira começa apenas em 1930, devido ao aumento dos preços de importação e da queda da receita que vinha das exportações de café. Assim, houve um aumento considerável na participação da indústria nacional na economia neste período que vai até 1980, entretanto não foi um processo bem planejado, pois não foi visada uma evolução técnica, com aquisição de melhores tecnologias e desenvolvimento em paralelo de instituições estratégicas envolvidas com o setor industrial, aspirava-se

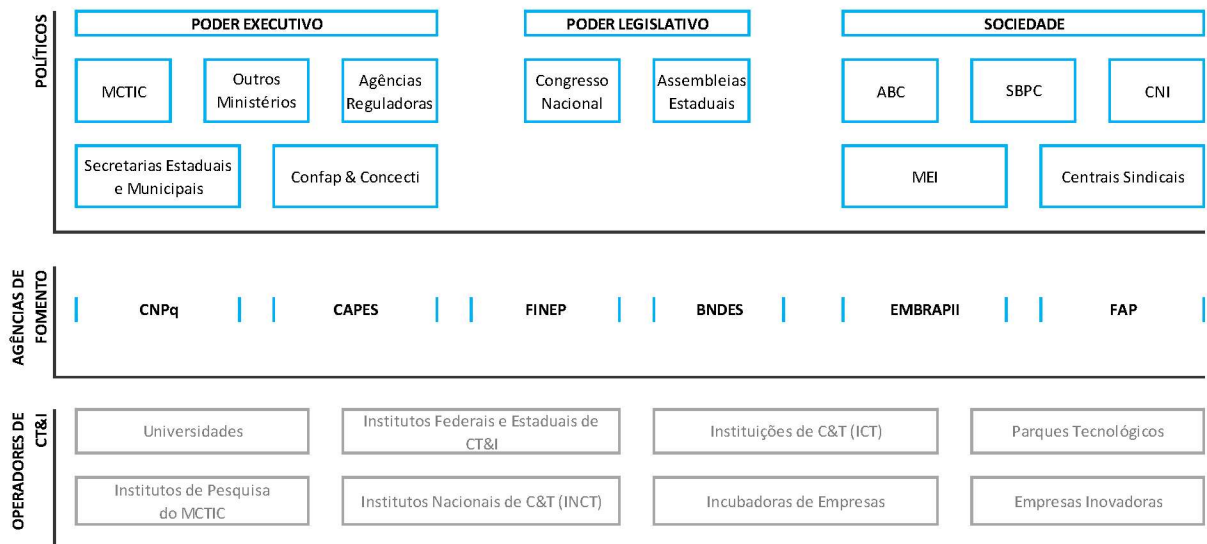
apenas o aumento da produção e não a produtividade (NEUBERGER e MARIN, 2013, p. 9).

Apesar de não ser o foco principal dentro deste período, mais especificamente a partir da década de 1950, são criadas políticas públicas e instituições relacionadas à pesquisa e desenvolvimento que tem por objetivo incentivar a ciência e tecnologia no território nacional. Duas destas existentes ainda hoje são os principais programas de fomento à ciência, tecnologia e inovação (C,T&I): o hoje Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O primeiro, além de fomentar a pesquisa brasileira, incentiva a formação de novos pesquisadores, já a segunda “assegura a existência de pessoal especializado, em quantidade e qualidade suficientes para atender às necessidades dos empreendimentos públicos e privados, que visam ao desenvolvimento do país” (MATOS e TEIXEIRA, 2019, p. 75). Além destas instituições, destaca-se também o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), que oferece apoio financeiro aos programas de ciência e tecnologia e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), que encontra-se hoje como o principal órgão de fomento público à inovação no Brasil, por meio do incentivo à C,T&I no setor privado, em universidades, institutos tecnológicos e demais instituições públicas e privadas, atuando em toda a cadeia de inovação. Ambos também tiveram sua fundação no mesmo período, aproximadamente na década de 1970 (MATOS e TEIXEIRA, 2019, p. 76).

Entretanto, Matos e Teixeira (2019, p. 77 e 78) apontam que é a partir do século XXI que o país começa a se interessar e incorporar de maneira mais enfática as questões ligadas à inovação. Uma das mudanças é a formação de legislação própria, como a lei da inovação n° 10.973, que foi alterada em 2016 pela lei 13.243, que promove a cooperação universidade-empresa e facilita a comunicação entre pesquisadores, instituições de pesquisa e empresas. Com o vigor desta lei, visando um intercâmbio entre agentes de pesquisa e empresas com atividades inovadoras, a burocracia envolvida foi diminuída, além disso, foi diminuído os obstáculos para a importação de insumos ligados à P&D, o papel dos núcleos de inovação tecnológica foi ampliado e houve a formalização das bolsas que propiciam a atividade inovadora. Com isso, percebe-se a ação do Estado para iniciar a formação de ecossistemas de inovação, onde seja permitida a interação de atores que são característicos em um

sistema de inovação, com a comunicação entre agentes públicos e privados. Atualmente, os atores que podem ser encontrados no sistema inovativo brasileiro são apresentados na FIGURA 1

FIGURA 1 – PRINCIPAIS ATORES DO SISTEMA DE INOVAÇÃO BRASILEIRO



FONTE: MATOS e TEIXEIRA (2019, p. 78)

Dentro da linha de Schumpeter, em que o empresário é o ator central que injeta inovação na economia transformando o sistema endogenamente, Matos e Teixeira (2019, p. 80) entendem que são as grandes empresas que mais se articulam com outros atores no sistema brasileiro, beneficiando-se mais pois são as que mais captam os recursos públicos. Elas, juntamente com os Institutos de Ciência e Tecnologia, são os que mais interagem dentro do ambiente dinâmico e a relação mais forte dentro da economia brasileira no que tange à inovação e tecnologia é a comunicação entre empresas e o fomento público. Esse fato, entretanto, é notável entre grandes e médias empresas e não àquelas “incubadoras de conhecimento”, como *startups*, que possuem pouca interação e pouco apoio público.

Apesar das tentativas recentes, a inflação persistente ao longo de sua história - que interfere nas tomadas de decisões - e uma política de ciência e tecnologia que não foi bem articulada com as políticas econômicas nem com o setor empresarial, fazem com que o Brasil tenha um Sistema Nacional de Inovação imaturo e longe de estar consolidado (NEUBERGER e MARIN, 2013, p. 10). Há forte

desigualdade dentro do sistema, tendo mais enfoque em algumas áreas do que em outras, as áreas ligadas à biologia e ciências exatas conseguem ter uma boa comunicação com a comunidade científica internacional, porém as inovações relacionadas à indústria e tecnologia fica aquém do desejado, sendo bases que, como foi demonstrado anteriormente, tiveram recursos para o desenvolvimento de sua infraestrutura muito mais do setor público do que do setor privado. Isso mostra uma heterogeneidade marcada pelo baixo dinamismo, pois a fraca presença do setor privado, entendida pelos empresários, e a desarticulação entre as instituições - governo, empresas e institutos de conhecimento e pesquisa - revela os gargalos da ineficiência do SNI brasileiro, que para tornar-se mais dinâmico precisa de uma melhor comunicação entre os atores, para que se tenha maior apoio às atividades inovadoras, que são estratégicas para um país que busca alcançar o desenvolvimento econômico e social (SILVEIRA e CARVALHO *et al*, 2016, p. 511).

Dentro deste contexto concorrencial, o Brasil, apesar de ter um sistema ainda imaturo, apresenta alguns setores com maior competitividade e potencial para crescer nos próximos anos. Um destes, é o setor de energia, que é estratégico para a sociedade, pois é intrínseco ao desenvolvimento econômico e tem no cenário brasileiro diferenciais que levam à competição com outros países. Portanto, uma das formas que o país têm para formar seu Sistema Nacional de Inovação está ligado à maior atenção ao setor energético, devido às suas vantagens e poder de expansão, levando a que se torne um importante ator no cenário internacional.

3 COMPOSIÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA: DESDOBRAMENTOS EM BUSCA DE FONTES RENOVÁVEIS

No presente capítulo é apresentada a formação da matriz energética no âmbito mundial e local, mais especificamente, com relação à matriz brasileira. Ao ser resgatado historicamente como foi composta a matriz, busca-se entender o contexto, bem como a mudança de paradigma que leva a abertura por parte das instituições públicas e privadas para o estabelecimento de fontes alternativas de energia, que considere as questões de mudanças climáticas pautadas no debate atual.

3.1 A MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL DENTRO DO PARADIGMA TECNOLÓGICO

As revoluções industriais ocorridas nas últimas décadas trouxeram profundas transformações para a civilização humana. É fato que o aumento populacional, crescimento econômico, expansão da urbanização, industrialização, entre outros aspectos sociais e ambientais estão relacionados às mudanças do modo de produção, e este último, intimamente atrelado ao setor estratégico de energia. Em meados do século XX, nota-se o crescimento acelerado do consumo energético, devido às necessidades de produção, inicialmente com o uso de máquinas a vapor alimentadas com combustíveis fósseis, depois com o uso do petróleo e da eletricidade no processo produtivo. Isso mostra que a história das mudanças nos usos de fontes energéticas é a história da própria civilização humana. (JUNIOR *et al*, 2017, p.310)

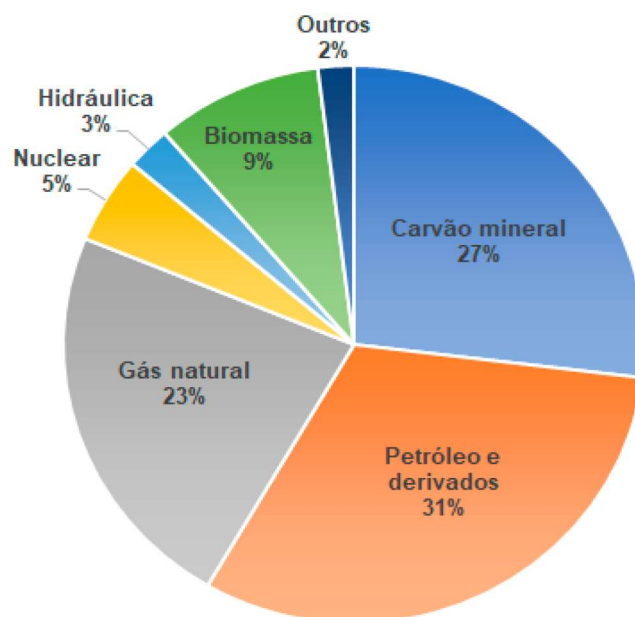
Para buscar melhorar o desempenho do sistema de energia é preciso antes entender sua composição e o contexto em que está inserido, pois quando se fala em energia, fala-se também em competitividade, sistema produtivo, questões geopolíticas e ambientais. A partir disso, é possível criar perspectivas que orientem os decisores públicos e privados nas melhores decisões que aumentem o nível de bem-estar e tragam, ao mesmo tempo, um padrão próximo ao ideal de desenvolvimento econômico.

O estudo das matrizes energéticas mundiais e locais é uma forma de compreender esse nexos existente entre economia e bem-estar social, pois o conhecimento de sua composição e transformações traz indícios se é necessária

uma mudança no paradigma socioeconômico. Antes de tudo, entende-se que o que se chama de matriz energética é a “estrutura de oferta e demanda setorial de energia, contemplando as diferentes fontes primárias e secundárias, bem como os diversos usos no sistema socioeconômico” (NOGUEIRA e CARDOSO, 2007, p. 34). Como afirmado anteriormente, a Primeira Revolução Industrial, que marca o início da industrialização, tinha como base o uso do carvão mineral e outros combustíveis fósseis como fontes primárias de energia, devido às máquinas a vapor, apesar das mudanças tecnológicas e do pensamento da sociedade, a base da matriz energética atualmente ainda é predominada pela termoeletricidade, permanecendo o emprego de combustíveis fósseis como a fonte prevalecente. (NOGUEIRA e CARDOSO, 2007, p. 34 e 39).

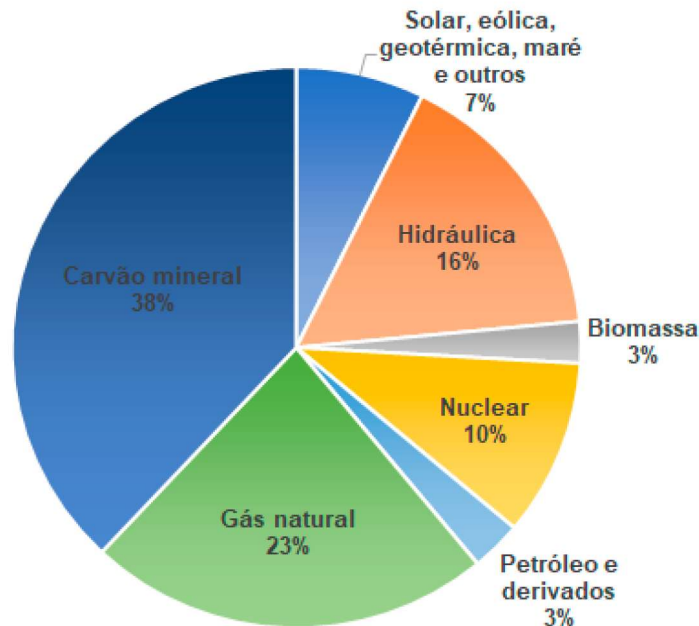
Hoje, segundo a *International Agency Energy* (IEA, 2021), destacam-se como as principais fontes primárias de energia mundial o carvão mineral, o petróleo e seus derivados, o gás natural, a energia nuclear, biomassa e a hidroeletricidade, sendo que as quatro primeiras se caracterizam como fontes não renováveis, ou seja, suas reservas são limitadas. Quando se fala da composição da matriz elétrica mundial, apesar do aumento da participação da energia hidráulica e queda do petróleo e seus derivados, ainda permanece o predomínio dos combustíveis fósseis para a geração de eletricidade, como pode ser visto nos GRÁFICOS 1 e 2.

GRÁFICO 1 – MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL 2018



FONTE: International Agency Energy (2021)

GRÁFICO 2 – MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL 2018



FONTE: International Agency Energy (2021)

Através dos gráficos, nota-se que a oferta mundial se baseia em sua maioria de fontes não renováveis. O petróleo, fonte dominante, está diminuindo sua participação energética devido ao crescimento do gás natural, fonte que tem uma previsibilidade de demorar a se esgotar. Deste modo, quando se trata de fontes renováveis na composição da matriz global, o percentual ainda é baixo, não representando nem mesmo 25% do total ofertado. Embora estes números se tornem mais expressivos quando se fala em matriz elétrica – devido à forma como é gerada a eletricidade, sendo mais fácil a transformação da energia cinética gerada pelos ventos ou pelo movimento da água, por exemplo, em energia elétrica –, a participação mundial de fontes limpas poderia ser ainda maior, perdendo um relativo espaço para o carvão mineral, que ainda ocupa a liderança, mas é uma fonte não renovável de geração.

3.1.1 Oferta e demanda global por energia e o problema da oferta mundial

Entendendo que a matriz energética é essencialmente o estabelecimento da oferta e demanda de energia, a *International Agency Energy* (2021) apresenta que no ano de 2019 o fornecimento total de energia no mundo foi de cerca de 617 milhões de terajoules (TJ), tendo como principais fornecedores o petróleo, com 187

milhões de TJ e o carvão mineral, com 162 milhões de TJ. Comparativamente, apesar das energias renováveis estarem aumentando sua participação na produção de energia mundial - dando destaque para a energia advinda da fonte eólica e solar, que passaram de uma produção de apenas 2,5 milhões de TJ em 2000 para aproximadamente 13,5 milhões de TJ no ano de 2019, mostrando a maior taxa de crescimento entre as fontes renováveis - o carvão mineral e o gás natural ainda apresentam uma tendência de crescimento para os próximos anos.

Ao tratar da demanda por energia, no ano de 2019 o consumo final total foi de quase 418 milhões de TJ, sendo os principais setores consumidores o industrial, com 120.978 milhões de TJ e o setor de transporte, com 120.972 milhões de TJ. Ao tratar do consumo final por fonte, os derivados de petróleo (168 milhões de TJ), eletricidade (82 milhões de TJ) e o gás natural (68 milhões de TJ) são as principais fontes de consumo segundo os dados da IEA (2021).

3.1.2 A predominância do petróleo e os desdobramentos para o uso de fontes alternativas dentro do setor energético

Tendo em mente que a base da matriz energética mundial advém de fontes não renováveis, em particular, de combustíveis fósseis, a fonte de energia dominante desde o século passado até hoje é o petróleo, isto se deve em especial ao crescimento da indústria automobilística no início do século XX. Desta forma, esta é a fonte que tem posição central no desenvolvimento e modernização das economias. Segundo Costa e Prates (2005, p. 8 e 9), por ser uma fonte dominante, qualquer perturbação em seu mercado impacta consideravelmente outros mercados energéticos, como foi no caso da década de 1970, com a chamada “crise do petróleo”, onde houve grande queda nas reservas mundiais de petróleo, fazendo o preço por barril de petróleo saltar de US\$ 3 para US\$ 12 e, em 1979 atingir 32 dólares. Isso levou os países a terem que repensar suas estratégias quanto à produção e consumo de energia, abrindo espaço para outras fontes.

Desde que se tornou a base da matriz energética mundial e principalmente o “elemento fundamental para o funcionamento da economia moderna”, o petróleo está sempre rodeando as relações geopolíticas, pois os países que o detêm em abundância, detêm também grande poder no que se refere ao sistema de produção contemporâneo, por isso qualquer mudança na matriz energética global interfere na

economia como um todo (BARROS, 2007, p. 48). Por este motivo, Weigmann (*in* BARROS, 2007, p. 49) alerta que o petróleo só deixará de ser a principal fonte de energia mundial caso “haja restrição de oferta, após o atingimento do pico de produção mundial”. Fato este que já não parece estar tão distante, apesar das inovações do setor petroquímico prolongarem sua posição dominante no mercado mundial, já não há grandes descobertas de reservas a um bom tempo, de acordo com Costa e Prates (2005, p. 10), foi nos anos de 1970 a última grande descoberta de jazidas de petróleo no Oriente Médio. Entretanto, os autores ainda apontam que a substituição desta fonte por outra não é algo tão fácil, pois o petróleo possui alta mobilidade e flexibilidade, além disso, durante os anos que esteve no auge foi possível o estabelecimento de uma indústria competitiva, associada ao grau de verticalização empresarial, com grandes economias de escala, matéria-prima disponível, altos investimentos em tecnologia e uma logística de distribuição de produtos eficaz, deste modo encontram-se barreiras à substituição por outro energético que alcance a plenitude do atual desenvolvimento do petróleo (BARROS, 2007, p. 48). Se apenas os aspectos econômicos forem considerados, o custo de geração da atual fonte dominante é o menor entre as fontes conhecidas hoje, em especial às fontes mais limpas de energia, que precisam de alto investimento e não atingiram um nível de maturidade (JUNIOR *et al*, 2017, p. 311).

3.1.3 A ascensão das fontes de energia complementares à fonte dominante

Todavia, a sociedade não considera apenas os aspectos econômicos, mas também os sociais e ambientais. Sobretudo no fim do século XX e no século XXI a questão ambiental ganha destaque em todas as esferas, com a maior preocupação em relação ao aquecimento global, o setor energético está intimamente relacionado a essas degradações ambientais, tanto como um dos responsáveis como um dos colaboradores para diminuir a deterioração do meio ambiente. Com o crescimento acelerado do consumo energético, em todo o século XX, a população mundial passou a crescer exponencialmente, acompanhando uma alta taxa de crescimento econômico, isto levou a um considerável aumento nas emissões de dióxido de carbono na atmosfera (CO₂) na atmosfera, liberada pela queima de combustíveis fósseis, isto é, o aquecimento global, exemplificado pelas mudanças climáticas está intrinsecamente relacionado ao volume de emissões de gases gerados nos

processos produtivos (JUNIOR *et al*, 2017, p. 310 e GONZÁLEZ, 2020, p. 4). A emissão destes gases na atmosfera pode ser elucidada pelo conceito de efeito estufa, compreendido como o aumento da temperatura média terrestre devido à concentração de gases como o Dióxido de Carbono (CO₂, Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs) e Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) na atmosfera (BARROS, 2007, p. 49). Este aumento da temperatura traz não apenas consequências para a natureza, mas para toda a vida terrestre, em especial a humana, que convive com recorrentes desastres ambientais, aumento de doenças devido a qualidade do ar ruim, entre vários outros problemas.

Por este motivo, as nações passaram a se reunir e pensar maneiras de mudar o paradigma de produção desenfreada, sem pensar nas consequências futuras. A primeira reunião para discutir as mudanças climáticas foi no fim da década de 1990 e ficou popularmente conhecida como Protocolo de Quioto, onde foram estabelecidas metas para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), abrangendo todos os setores, entre eles o setor energético. Nesta conferência, os países presentes se propuseram a reduzir, em média, em 5,2% suas emissões em relação a 1990 (JUNIOR *et al*, 2017, p. 310 e COSTA e PRATES, 2005, p. 10). Depois desta, muitas outras conferências e acordos são estabelecidos entre diversos países anualmente visando acompanhar o que vem sendo feito e propor melhorias relacionadas ao meio ambiente.

Essas transformações climáticas devem levar então à reflexão quanto à produção e consumo de energia, pois por ser essencial ao desenvolvimento econômico e social, é também uma das esferas que interfere negativamente na degradação ambiental, mas que deve assumir a condição de ser um meio sustentável que traz benefícios para todas as esferas. Pelo predomínio dos combustíveis fósseis, grande parte das emissões de GEE é de responsabilidade do setor de energia, por isso os atores públicos e também particulares passam a repensar o modo de geração e consumo de energia, agregando novas fontes e substituindo fontes poluidoras no que se chama de transição energética, que nada mais é do que a “eletrificação” do setor de energia, substituindo combustíveis fósseis pela energia elétrica, esta sendo gerada por fontes mais limpas (GONZÁLEZ, 2020, p. 2). Como nota González (2020, p. 8), a participação do petróleo e do carvão mineral já vem diminuindo e a participação das energias renováveis e do gás natural como complementar vem aumentando.

Merece destaque o crescimento do gás natural, que tem uma prospectiva de até 2040 ser o segundo combustível mais relevante, estando apenas atrás do petróleo, por ser um combustível fóssil de baixa emissão, terá um desenvolvimento significativo nos setores de transporte e liquefação. Porém, sua participação não é esperada para a geração de eletricidade, mas sim em setores industriais onde o seu uso gera até mais eficiência do que a própria eletricidade (GONZÁLEZ, 2020, p. 18). Por este motivo, e por não se tratar de uma fonte renovável, é preciso uma concentração no desenvolvimento de fontes renováveis de energia, que sejam menos poluentes, ajudando assim, a diminuir os efeitos das mudanças climáticas e do aquecimento global. Para que este tipo de fonte possa ser adotado, é preciso levar em consideração as limitações de cada país, como área e recursos disponíveis, verificar a capacidade do aumento da eficiência na geração de energia através das inovações tecnológicas, além de considerar os custos de produção e tecnológicos de cada fonte energética (JUNIOR *et al*, 2017, p. 311).

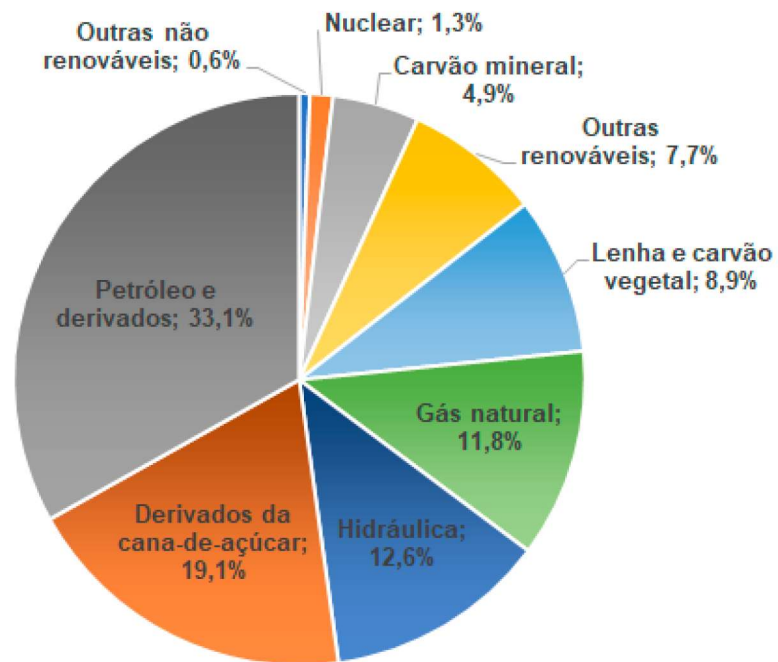
Como forma de garantir que os países se comprometam a dar mais atenção para fontes renováveis de energia, alguns acordos são estabelecidos e registrados, mostrando que há um engajamento com a causa ambiental, entre esses acordos, um dos mais conhecidos é o Acordo de Paris, estabelecido em 2015, onde quase duzentos países, assim como no Protocolo de Quioto, comprometem-se a reduzir as emissões de GEE, através de várias medidas, entre elas, o incentivo do uso em grande escala de fontes renováveis de energia, diversificando sua matriz energética e diminuindo os impactos ambientais (Panorama de energias renováveis, 2016, p. 12). Entretanto, os países participantes puderam estabelecer suas próprias metas, pois é necessário considerar que não bastam apenas objetivos ousados, é preciso considerar os custos de investimento e a capacidade de cada país. Segundo Costa e Prates (2005, p. 15), para a adoção e desenvolvimento de fontes mais limpas para a geração de energia são necessários investimentos mais elevados do que quando se vai utilizar as fontes já convencionais, isto se deve ao fato de que estas últimas não precisam mais de altos investimentos iniciais, porque os custos do seu desenvolvimento tecnológico já foram recuperados com a produção em larga escala e com o nível de maturação. Entende-se que as energias renováveis ainda levarão certo tempo para tornarem-se fontes competitivas, deste modo, como alternativa, os países devem também ter seu planejamento energético focado em tecnologias que favoreçam a eficiência energética, evitando o desperdício de energia que poderia ser

aproveitada com a mudança nos hábitos de uso (NOGUEIRA e CARDOSO, 2007, p.42).

3.2 A FORMAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: UM EXEMPLO A SEGUIR NA ADOÇÃO DE FONTES RENOVÁVEIS

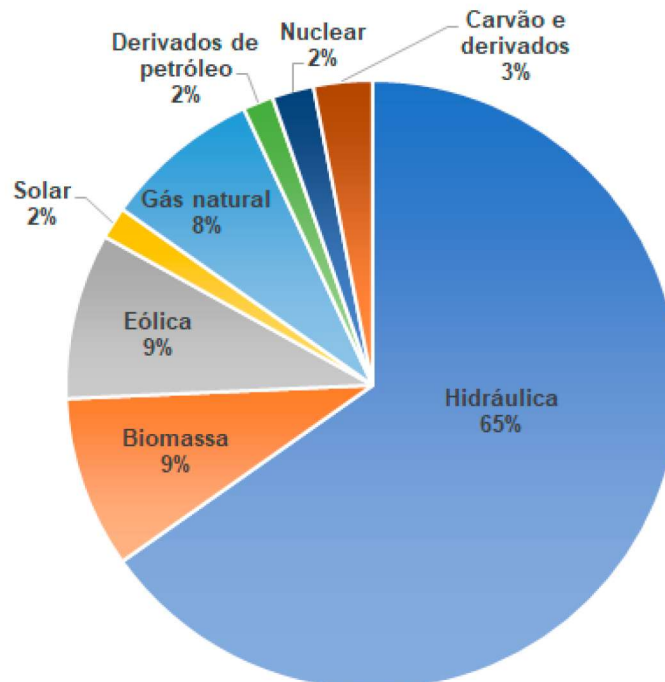
Tendo em conta a composição da matriz energética mundial, que ainda é dependente em mais de $\frac{3}{4}$ da sua formação por fontes não renováveis, nota-se que o Brasil apresenta características um pouco distintas quanto à sua formação. Apesar da presença das fontes não renováveis ser maior do que as fontes renováveis, a participação desta última é maior do que no resto do mundo. Segundo os dados da Empresa de Pesquisa Energética, no Balanço Energético Nacional de 2020 (EPE, 2021), somando-se a lenha e carvão vegetal, a energia hidráulica, derivados de cana-de-açúcar e outras fontes renováveis, a participação é de cerca de 48% de fontes mais limpas na matriz energética brasileira, como pode ser observado no GRÁFICO 3, muito diferente da composição mundial, que possui apenas aproximadamente 14% da sua energia proveniente de fontes renováveis. Se for considerada apenas a produção de energia elétrica, a participação de energias renováveis tem um salto, representando mais que $\frac{3}{4}$ da composição nacional de eletricidade, muito expressivamente isso se deve ao uso da fonte hidráulica para a geração de energia. Como apresentado no GRÁFICO 4, a hidroeletricidade responde por 65,2% da produção nacional de eletricidade, seguida pela biomassa, com 9,1% e em terceiro lugar, a energia eólica, com 8,8% de participação na matriz. Esta última recebendo destaque, pois é uma fonte em ascensão que ainda está longe do seu período de maturação, tendo um grande potencial para ser melhor desenvolvida.

GRÁFICO 3 – MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA 2020



FONTE: Empresa de Pesquisa Energética (2021)

GRÁFICO 4 – MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA 2020



FONTE: Empresa de Pesquisa Energética (2021)

Esta significativa participação da hidroeletricidade deve-se ao investimento histórico no caso brasileiro neste tipo de fonte, “devido à abundância de recursos

hídricos disponíveis e o custo relativamente baixo em sua produção” (DUPONT, GRASSI e ROMITTI, 2015, p. 71). Anteriormente, na década de 1970, a principal fonte para a geração de energia era a lenha, sendo responsável por quase metade do consumo final de energia e o petróleo, neste mesmo período, já representava 36% da demanda (BRONZATTI e NETO, 2008, p. 4), porém com a crise energética da mesma década, o Brasil passou a buscar formas alternativas à termelétricidade, devido ao fato de que cerca de 80% do petróleo utilizado no país era importado e até a década de 1990 o consumo de lenha caiu a uma taxa de 2,9% ao ano (COSTA e PRATES, 2005, p. 12). Por ter reservas de petróleo relativamente baixas, impulsionado pela crise energética dos anos 1970, o país passou a investir pesadamente nos recursos energéticos domésticos, destacando-se os recursos hídricos e a biomassa. Como descreve Costa e Prates (2005, p. 12), o uso destas fontes na produção de energia surge em decorrência de um planejamento energético já em meados do século XX:

O desenvolvimento do parque gerador de energia hidroelétrica vinha sendo implementado desde a década de 50. Posteriormente, na década de 70, houve aceleração desse desenvolvimento, com a construção de grandes usinas hidroelétricas, como Itaipu e Tucuruí. O consumo de eletricidade industrial teve crescimento acelerado devido à transferência, para o país, de indústrias eletrointensivas e ao programa Eletrotermia, que promoveu a substituição de óleo combustível por eletricidade.

O álcool foi o combustível utilizado para substituir o petróleo no transporte individual. A produção, que não passava de 700 mil m³ entre 1970 e 1975, saltou para 12,6 milhões de m³ em 2002, sendo que o pico foi alcançado em 1997, com a produção de 15,5 milhões de m³. Durante os anos 80, as vendas de carro a álcool chegaram a representar mais de 90% das vendas totais de veículos leves. Nessa época, a produção de álcool era equivalente à de gasolina. (COSTA e PRATES, 2005, p. 12).

No entanto, não se pode considerar apenas as duas fontes acima citadas como importantes. O Brasil apresenta uma tendência de melhorar a diversificação de sua matriz energética. Nos anos 2000, além da lenha e do petróleo, a energia hidráulica passa a ter participação significativa e há uma projeção para 2030, segundo Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007, p. 49) de que quatro fontes serão necessárias para satisfazer cerca de 77% do consumo final: petróleo, energia hidráulica, cana-de-açúcar e gás natural, reduzindo expressivamente a participação da lenha. Com relação ao gás natural, assim como vem sendo percebido na economia mundial, sua participação vem crescendo devido à indústria e ao setor de transportes, as estimativas são de que até 2030, essa fonte tenha um crescimento na produção a uma taxa de 5% ao ano e uma taxa de consumo de 4% ao ano, esse

aumento trata-se de uma forma de substituir o uso do óleo combustível (BRONZATTI e NETO, 2008, p. 7).

Com uma matriz energética diversificada e com grande participação das energias limpas, verifica-se que o Brasil possui uma matriz de baixo carbono, tendo uma intensidade de carbono - emissão de CO₂ por unidade do Produto Interno Bruto (PIB) - abaixo da média dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Todavia, o país também precisa ter sua parcela de participação no controle do aquecimento global, pois apesar de ter sua maior participação das fontes renováveis, ainda é um relevante emissor de GEE, este seu comprometimento pôde ser visto ao estabelecer metas de redução de emissões no Acordo de Paris, como a proposta de atingir entre 28% e 33% de sua matriz energética com fontes limpas, alternativas à hidroeletricidade até 2030 (Panorama de energias renováveis, 2016, p. 13). Além disso, as recorrentes mudanças climáticas vêm ameaçando a geração de energia elétrica por meio das hidrelétricas, em decorrência dos fortes períodos de estiagem, em especial na região sudeste brasileira, mostrando que a dependência da fonte hidráulica precisa ser reavaliada e novas fontes de energia, principalmente as renováveis, precisam receber maior atenção e maiores investimentos (DUPONT, GRASSI e ROMITTI, 2015, p. 71).

Portanto, preocupando-se com os impactos ambientais, mas buscando também melhorar o seu ambiente econômico - diminuindo a dependência de importação, o risco de abastecimento e escassez de recursos não renováveis -, o desenvolvimento de fontes renováveis traz aos países emergentes como o Brasil a oportunidade de desenvolver seu sistema energético, aumentando sua competitividade e sendo um importante ator no crescimento sustentável (NOGUEIRA e CARDOSO, 2007, p. 38). Neste contexto, o país já possui um histórico e vantagens para a produção de energias renováveis, como uma vasta área e clima propício para a produção de energia eólica, em especial no Nordeste, energia solar e geração elétrica através do bagaço da cana, sendo um potencial ator na mudança de paradigma que considere as mudanças ambientais (COSTA e PRATES, 2005, p.18 e 26).

4 A ENERGIA EÓLICA COMO FERRAMENTA DE INOVAÇÃO NA ECONOMIA BRASILEIRA

O presente capítulo tem por objetivo apresentar como foi formada e como está atualmente estruturado o setor de energia eólica. Na primeira parte é feito um resgate da motivação que levou à adoção da energia eólica como fonte alternativa em todo o mundo, depois, é feita uma breve explicação de como funcionam os componentes de um aerogerador - elemento fundamental para esta indústria e para a geração deste tipo de energia. No terceiro tópico, trata-se de como encontra-se o setor eólico globalmente, com seus principais dados e principais atores. Por fim, é apresentado o panorama brasileiro neste setor e como acontece a formação de sua indústria nacional eólica, bem como é feita a análise se esse setor contribui para a formação de um sistema nacional de inovação.

4.1 A ENERGIA EÓLICA COMO ALTERNATIVA ÀS FONTES CONVENCIONAIS

A crise do petróleo ocorrida no início da década de 1970 fez com que os países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) tivessem que adotar alternativas ao petróleo para a geração de energia, em especial a adoção de fontes renováveis, pois as questões relacionadas à redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) começavam a entrar em pauta. Deste modo, dentro das fontes alternativas, a energia eólica é uma das que retornou a receber investimentos devido aos contínuos choques do petróleo no século XX, além de diminuir a dependência de fontes convencionais de energia, os países passaram a inserir esta fonte de energia em seu sistema como forma de segurança e diversificação da matriz energética, como também como maneira de combater as mudanças climáticas, com fontes mais limpas (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 180; SILVA e VIEIRA, 2016, p. 64 e 65).

A produção da energia eólica ocorre pela instalação de parques eólicos em regiões com condições naturais favoráveis, criados de forma descentralizada, pois assim os impactos gerados pela sua implantação - que precisam de uma vasta extensão territorial - são menores e a energia gerada é potencializada. Há duas formas de como a energia eólica pode ser produzida: pelos parques *onshore*, localizado no ambiente terrestre e os parques *offshore*, no ambiente marítimo. A

tecnologia *onshore* é a mais conhecida e utilizada mundialmente, devido ao seu custo de instalação mais baixo em relação a outra, mas acaba por ter uma capacidade de produção menor, por ser mais dependente das variações dos ventos do continente. Já a tecnologia *offshore* tem uma produção de energia maior, entretanto é mais custosa, tanto na instalação quanto na manutenção, além disso, por se localizar em alto-mar, a cerca de 20km da costa, o contato com as águas salinas faz com que os materiais utilizados tenham uma corrosão e deterioração maior (SILVA e VIEIRA, 2016, p. 67, 69 e 71).

Dentro disso, a energia elétrica produzida tem duas formas de transmissão, que gera duas subdivisões dentro da forma de produção da energia eólica: é direcionada a uma subestação e transmitida a um sistema maior, ligada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) de energia elétrica, chamado de *ongrid*, ou pode ter a finalidade de uso para locais remotos, que sejam de mais difícil acesso à rede nacional, essa forma de distribuição é chamada de *offgrid* (SILVA e VIEIRA, 2016, p. 67).

4.2 A COMPOSIÇÃO DOS AEROGERADORES E A VIABILIDADE DE UM PROJETO EÓLICO

Independente da forma de instalação utilizada, o funcionamento da conversão de energia eólica em elétrica é basicamente o mesmo: a força do vento movimenta as pás, estas “são ligadas a um eixo central que gera um campo magnético em local específico da estrutura, que, em seguida, é modificado em energia elétrica” (SILVA e VIEIRA, 2016, p. 67). Estas pás, juntamente com a torre e a nacelle, são os componentes do chamado aerogerador, que é o instrumento que captura a energia dos ventos e transforma-a. Os aerogeradores mais modernos são estruturas altas, que atingem até 150m de altura, que vai da sua base até a ponta da pá, compostos pelas torres, que são estruturas metálicas que demandam um menor desenvolvimento tecnológico e têm o seu tamanho dependente da potência. O segundo componente são as pás, que ficam no topo e capturam o vento, sendo construídas de modo a trazer leveza e resistência à estrutura e por último, a nacelle, que é o componente mais complexo, pois é onde são guardados os sistemas de controle do aerogerador, além de ser o local propriamente que transforma a energia

mecânica dos ventos em energia elétrica pela conexão das pás e do rotor com esse compartimento (GOUVÊA e SILVA, 2018, p. 89).

Devido ao seu grande porte, os aerogeradores precisam ter um espaço entre eles de três a cinco vezes o diâmetro de seu rotor, para que as pás tenham o espaço adequado para se movimentar, assim os parques eólicos ocupam áreas extensas e que contem com um relevo pouco complexo, com elevações naturais e com poucos obstáculos, pois a visibilidade e condições ambientais propícias à passagem do vento - como a variação média das correntes de ar local - são necessárias para uma maior eficiência do sistema, possibilitando que as pás capturem os melhores ventos (PINTO, MARTINS e PEREIRA, 2017, p. 1090). Por este motivo os parques são instalados de maneira descentralizada, para que não sejam dependentes de eventos naturais locais ou não se sujeitem “a um único meio de produção energético local, regional ou nacional, otimizando a capacidade de produção de cada localidade de acordo com a vocação específica” (SILVA e VIEIRA, 2016, p. 72).

Estes equipamentos contam com altíssimos requisitos técnicos e de qualidade, pelo fato do longo tempo de vida útil que têm suas pás e a segurança que a operação exige, aproximando-se assim, dos requisitos e do conhecimento necessários ao setor aeronáutico (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 175). A velocidade de ventos esperada para que as turbinas eólicas produzam energia com a potência esperada é de 10m a 23m por segundo, caso a velocidade seja inferior ou superior a isto, a estrutura possui freios que passam a funcionar, para que o equipamento não seja danificado, ademais, essas turbinas comercializadas trabalham entre 15 e 30 rotações por minuto, Silva e Vieira (2016, p.70) explica que

A rotação reduzida é propiciada pela relação calculada entre as pás e o eixo do rotor, que consegue otimizar o movimento na produção de energia. Atualmente, a evolução tecnológica busca a redução da velocidade das pás para que se tornem visíveis e evitáveis pelos pássaros em voo, além de reduzir a emissão de ruídos.

A velocidade do rotor é inversamente proporcional ao diâmetro total do conjunto, somados as pás e o rotor, ou seja, de forma simplória, quanto maior for a turbina mais lento será o movimento realizado e com maior potencial de produção (SILVA e VIEIRA, 2016, p. 70).

As empresas do setor de energia eólica, além de produzirem e se preocuparem com o desenvolvimento de turbinas mais eficientes, são geralmente também as responsáveis pela implantação de parques eólicos. Para saber se um

projeto deste tipo de energia é viável ou não, primeiramente os procedimentos administrativos são feitos, estudo das condições locais, como se o projeto tem compatibilidade com o uso do solo existente nas áreas próximas ao parque e se há energia disponível que possa ser extraída do vento. Pinto, Martins e Pereira (2017, p. 1086) estabelecem a equação que calcula a viabilidade de um projeto eólico, considerando variáveis como a velocidade do vento local, a potência e a área que as pás abrangem, que pode ser descrita da seguinte forma:

EQUAÇÃO 1 – VIABILIDADE DE UM PROJETO EÓLICO

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3$$

Onde:

ρ é a massa específica do ar (1,225 kg/m³),

C_p é o coeficiente de potência,

A é a área varrida pelas pás do rotor, e

v é a velocidade do vento.

FONTE: PINTO, MARTINS e PEREIRA (2017)

Essa equação mostra uma relação cúbica entre a potência e a velocidade do vento, considerando também a massa de ar da região e a área que os as pás conseguem alcançar, sem, entretanto, considerar a eficiência do aerogerador.

Para que um projeto como esse seja instalado, as empresas privadas precisam estabelecer um diálogo com os agentes envolvidos na área, como órgãos governamentais e privados, entre eles o “Ministério da Defesa, autoridades da aviação civil, provedores de comunicação de rádio e radar, concessionária de eletricidade local, autoridades de proteção ambiental, entidades de representação das comunidades locais” (PINTO, MARTINS e PEREIRA, 2017, p. 1094), para compreender e avaliar os impactos que a implantação pode trazer para as áreas próximas aos parques eólicos, quais as mudanças das características da região acontecerão, se as atividades socioeconômicas e culturais das comunidades serão prejudicadas, bem como a paisagem local.

Pinto, Martins e Pereira (2017, p. 1090) apresenta que por serem estruturas de grande porte, a presença de um parque eólico em uma região não passa

despercebida, os aerogeradores são equipamentos muito altos que se localizam em ambientes que não possuem muitos obstáculos quanto ao relevo, sendo visíveis a longas distâncias, além de ocuparem um vasto espaço territorial, precisando ser bem planejado quando do início de sua implantação. Estes impactos visuais e da paisagem não podem ser medidos, pois trata-se de uma questão subjetiva, pois há quem veja estes parques como uma forma de atrair o turismo e como símbolo de geração de energia limpa e outros que veem como uma poluição visual.

Um dos impactos - e que diferentemente do citado, pode ser facilmente medido e previsto - é o ruído produzido pelos aerogeradores, que pode ser de dois tipos: o ruído mecânico ou acústico e o ruído aerodinâmico. O primeiro já vem sendo praticamente eliminado pelo isolamento que é feito na nacelle, pois é o som que vem das caixas de engrenagens e do gerador. O ruído aerodinâmico é o que precisa de maior atenção, porque é o som proveniente da rotação das pás que entram em atrito com o ar, produzindo um ruído “de amplo espectro de frequência”. Para solucionar os problemas que este tipo de ruído traz, os aerogeradores modernos reduzem a velocidade de rotação das pás e usam “controles de passo da potência gerada” (PINTO, MARTINS e PEREIRA, 2017, p. 1091).

Pela extensão das pás, tamanho das torres e localização dos parques eólicos, é preciso levar em consideração o impacto que se pode trazer às aves que estão em rota migratória na região. Para evitar a morte de destas espécies que podem colidir com as pás dos aerogeradores, estruturas mais modernas estão substituindo as antigas e outras medidas estão sendo tomadas quanto ao local de implantação de um projeto eólico, como: evitar zonas de conservação de espécies; monitorar ambientalmente antes, durante e depois os lugares onde serão construídos os parques; aumentar a visibilidade das pás do rotor e providenciar corredores livres entre grupos de aerogeradores, quando assim for preciso (PINTO, MARTINS e PEREIRA, 2017, p. 1093).

Outro ponto a ser considerado é quanto à interferência eletromagnética que os aerogeradores podem trazer, especialmente aqueles que se localizam no topo de morros e lugares abertos que sejam bons caminhos para transmitir sinais de comunicação. As torres podem fazer com que as ondas eletromagnéticas sejam obstruídas, refletidas ou refratadas, a rotação das pás e o gerador também são outros componentes que trazem interferência, embora as pás mais modernas usem materiais sintéticos que têm um impacto bem menor nessa propagação, como por

exemplo na transmissão de sinais de televisão. Esse problema pode ser resolvido com o isolamento da nacele e com uma boa manutenção, além da instalação de parques distante das áreas residenciais, pois quando são instalados próximos destas, a interferência tem se tornado uma questão difícil de eliminar (MELO, 2013, p. 1092).

Por último, Pinto, Martins e Pereira (2017, p. 1094) também salientam o papel da energia eólica como vetor do desenvolvimento social, por meio do “atendimento de comunidades isoladas e da erradicação de bolsões de miséria em regiões de maior vulnerabilidade social, permitindo a universalização do uso da energia a custos menores” (PINTO, MARTINS e PEREIRA, 2017, p. 1094), além de evitar o êxodo rural, porque as famílias nesses locais alcançam condições de vida melhores não precisando abandonar suas comunidades, não ficando à margem da sociedade em áreas urbanas. Neste contexto, destaca-se a geração de empregos, tanto diretos quanto indiretos, causada pela implantação de parques eólicos, que Gouvêa e Silva (2018, p. 103) dividem em três fases, sendo elas: o período de pré-instalação, onde há a fabricação dos equipamentos e o desenvolvimento das tecnologias a serem utilizadas, neste estágio a fabricação das torres é a que ocupa a maior quantidade de mão de obra; o período de instalação do parque, que conta com o planejamento, gestão de projeto, transporte e a própria construção e por fim, o período de operação e manutenção, que engloba os serviços de geração e distribuição de energia. Portanto, os projetos eólicos são uma importante ferramenta de transformação social local.

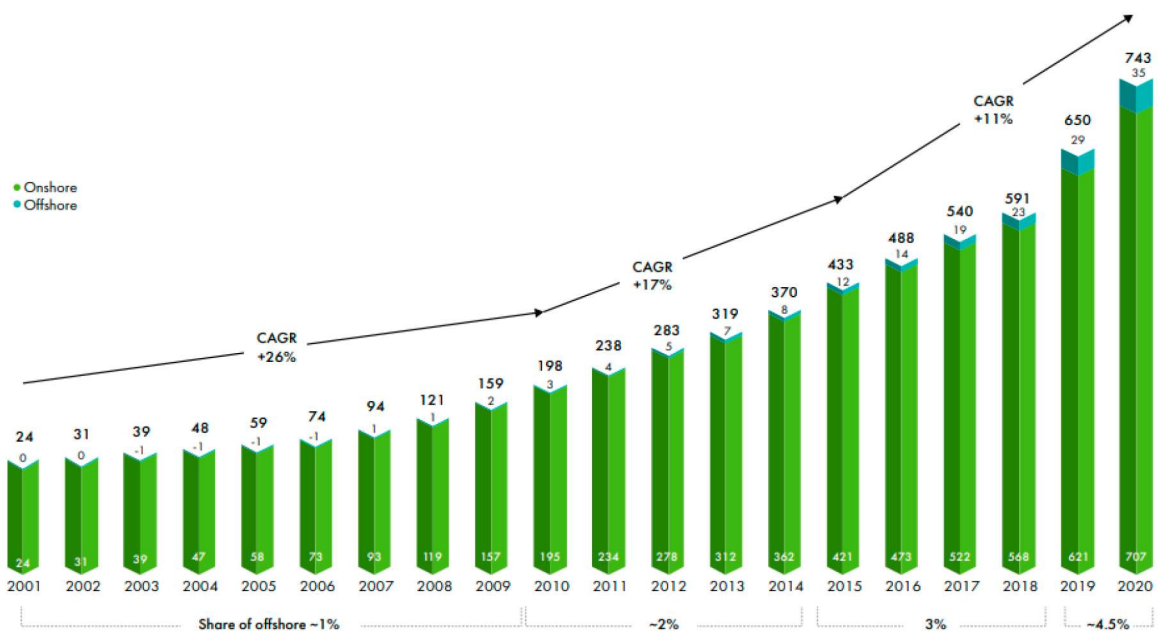
4.3 A ENERGIA EÓLICA EM PERSPECTIVA MUNDIAL

Hoje, a produção de energia eólica ocupa cada vez mais espaço na matriz energética mundial, apesar das recentes crises econômicas mundiais, continuou crescendo em ritmo acelerado. O relatório *Global Wind Energy Council* (2021), organizado pelo Conselho Global de Energia Eólica, aponta que, em 2020, houve um aumento de 59% em comparação com 2019 da capacidade instalada de energia eólica mundialmente, isso significa que houve a instalação de 93 GW em um ano em todo o mundo. Deste número, 86,9 GW foi somente de crescimento do mercado *onshore*, comprovando o que os autores Jungeng, Pengfei e Hu (*in* NASCIMENTO, MENDONÇA e CUNHA, 2012, p. 639) já afirmavam em 2010: mais de 90% de todas

as instalações globais de energia eólica são de turbinas eólicas em terra, apesar do significativo potencial de produção de energia *offshore*, atualmente apenas 5% das instalações decorrem deste mercado.

A instalação acumulada global no ano de 2020 foi de 743 GW, sendo que desta, 707 GW foi somente da energia *onshore*. Os maiores mercados com capacidade instalada são a China e os Estados Unidos, ambos aumentaram sua participação de mercado no mesmo ano, passando de 15% para 76%, sendo as economias que mais crescem em relação à energia eólica (GWEC, 2021). Apesar do crescimento expressivo, a fonte eólica representa muito pouco do consumo de energia global, não chegando nem a 5%, tendo um espaço ainda muito grande para sua expansão (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 178). O gráfico 5 abaixo mostra a evolução da energia eólica nas duas últimas décadas, separando o mercado *offshore* do *onshore* e suas respectivas capacidades:

GRÁFICO 5 – DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO GLOBAL DO TOTAL INSTALADO (GW)



FONTE: Global Wind Energy Council (2021)

O relatório também traz perspectivas para os próximos anos, do período de 2021 a 2025, a expectativa é que haverá um crescimento de 4% nos próximos cinco anos, mesmo que o ano de 2020 já tenha sido considerado um marco no alto avanço. Deste modo, espera-se que sejam adicionados 469 GW nos próximos anos,

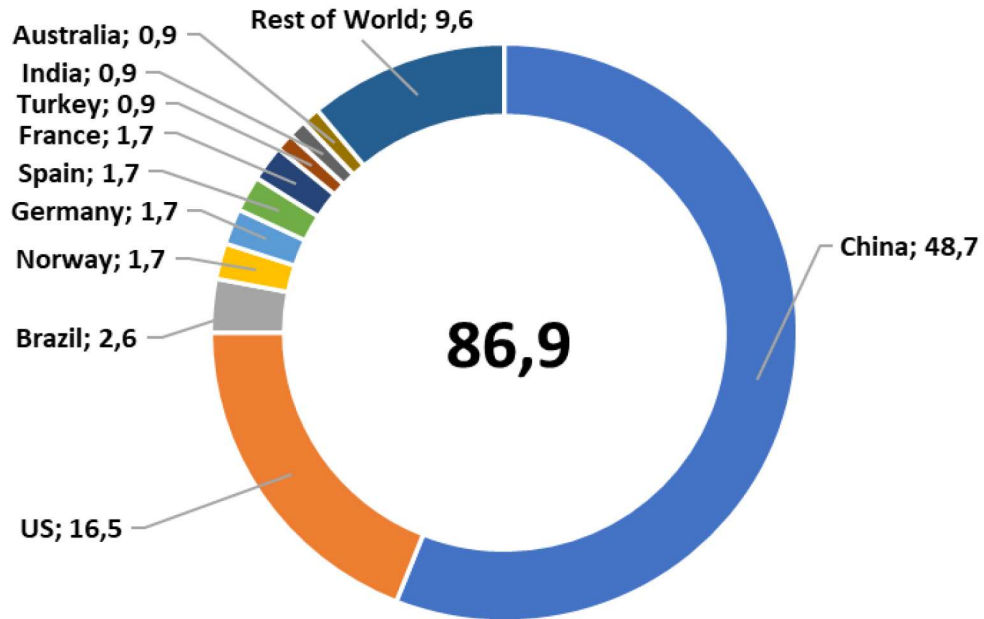
tendo um aumento de aproximadamente 94 GW por ano. Estes números são impulsionados pelas políticas governamentais e muito pela corrida pela instalação eólica dos dois maiores mercados mundiais: China e Estados Unidos. Isso mostra que pode existir uma maior contribuição com a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, pois a energia eólica trata-se de uma energia limpa que traz um retorno deste tipo de emissão muito menor do que para as usinas a carvão. Uma turbina *onshore* de 2 MW demora cerca de 5,4 meses para ter o retorno das emissões de carbono emitidas e uma turbina *offshore* de 6 MW demora aproximadamente 7,8 meses, isso mostra que este modo de geração de energia é até mesmo menos poluente do que a geração de energia hidráulica e solar, que tem um ciclo de vida maior (GWEC, 2021).

4.3.1 Os principais países produtores no mercado de energia eólica

Como já apresentado, China e Estados Unidos detêm quase 80% de toda a capacidade eólica mundial, entretanto outros países merecem destaque. Em 2020, a região líder no desenvolvimento de energia eólica é a Ásia, puxada pelos altos números da China, bem como a América do Norte ocupa a segunda colocação, com 18,4% do mercado mundial, devido aos EUA, ultrapassando a Europa, que caiu para a terceira posição, com 15,9% de participação. Em seguida, vem a América Latina com 5% e a África e Oriente Médio, que juntos somam 0,9% do mercado mundial (GWEC, 2021).

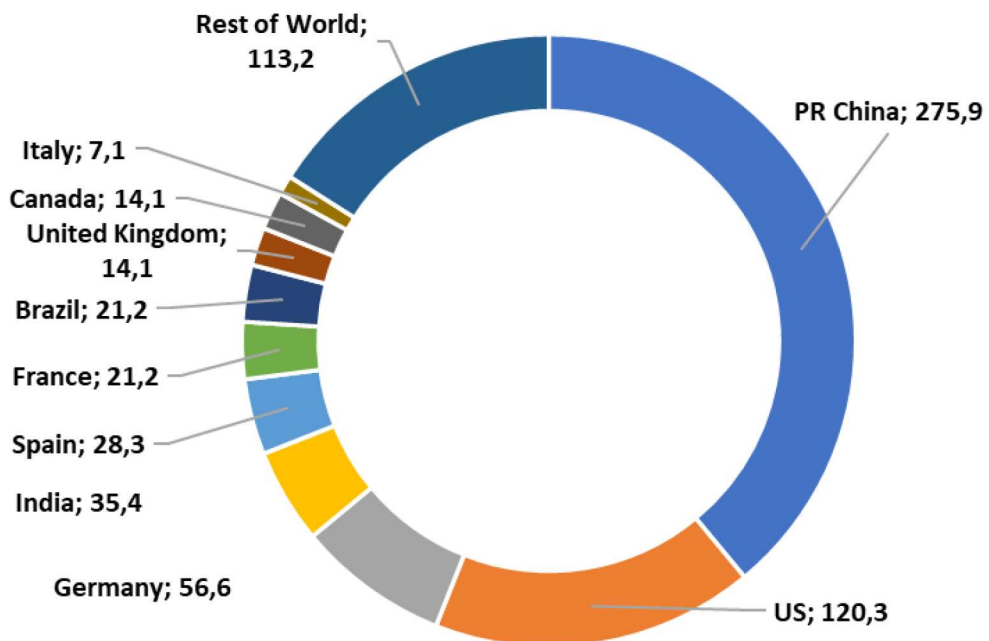
Três regiões são destacadas pelo relatório GWEC (2021): Ásia, América do Norte e América Latina, juntas, elas instalaram 74 GW apenas no ano de 2020, mostrando seu potencial de produção. Três países destes locais sobressaem em relação aos outros: China, Estados Unidos - como já apresentado - e Brasil, junto com Holanda e Alemanha, estes cinco países foram os mercados mundiais que mais cresceram em 2020 para novas instalações eólicas. Combinados, as cinco economias representaram 80,6% da nova capacidade global no ano de 2020, conforme GRÁFICO 6, já quando se fala em instalações cumulativas, os cinco principais mercados permaneceram inalterados em relação a anos anteriores, representando 73% de toda a instalação mundial em 2020, conforme mostra o GRÁFICO 7, sendo a China, EUA, Alemanha, Índia e Espanha os principais mercados:

GRÁFICO 6 – NOVAS INSTALAÇÕES ONSHORE (GW)



FONTE: Global Wind Energy Council (2021)

GRÁFICO 7 – TOTAL INSTALADO ONSHORE (GW)



FONTE: Global Wind Energy Council (2021)

Neste cenário, destaca-se o papel da China, como a grande líder mundial na geração de energia eólica que, além de ter a maior capacidade instalada, é o país que apresenta o maior crescimento, ocupando mais da metade do aumento dentro de um ano, seguida pelos Estados Unidos. Os outros três países, apesar de fazerem

parte dos cinco maiores *players* internacionais, possuem uma taxa de crescimento menor relativamente, mantendo a tendência de aumento, mas a níveis mais baixos, destacando assim o papel do Brasil, que apesar de ocupar a entre a 6ª e 7ª posição, está crescendo a taxas mais altas, podendo futuramente alcançar as posições dos países mais competitivos no setor.

4.3.2 A participação das empresas na indústria eólica no cenário mundial

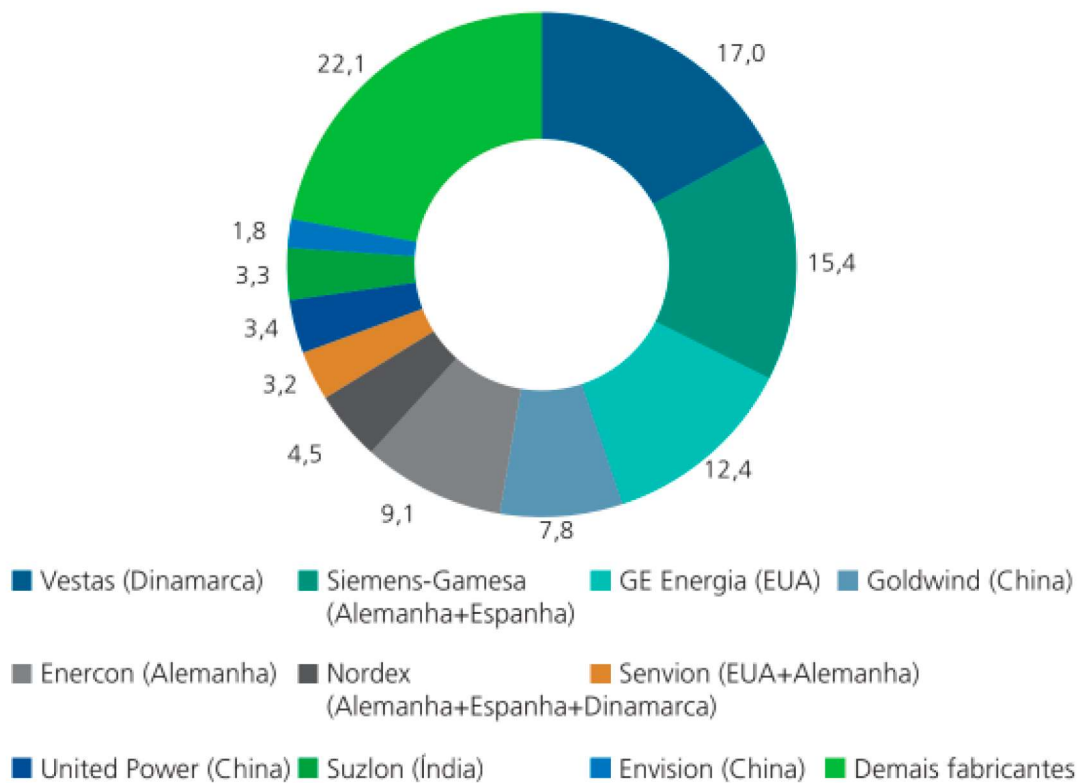
Segundo Araújo e Willcox (2018, p. 183), estes países puderam ter estes índices de crescimento devido ao desenvolvimento local de uma indústria para o setor, para eles

Todos esses principais mercados foram estruturados em paralelo à formação de uma cadeia produtiva local. Os países onde a energia eólica mais se difundiu aproveitaram a oportunidade da expansão dessa fonte de energia para o desenvolvimento de uma indústria que absorvesse parte dessa demanda. Os dez maiores fabricantes globais de aerogeradores têm origem nos países onde o mercado de energia eólica mais se desenvolveu no mundo – China, EUA, Alemanha, Índia e Espanha (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 183).

Os países que inseriram a energia eólica em suas matrizes energéticas têm como características a criação de empresas nacionais nesse setor, atraindo fabricantes de aerogeradores que vêm de outros locais, fazendo com que aumente o investimento estrangeiro e a implantação de laboratórios nacionais de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação que tem o objetivo de desenvolver a indústria e trazer inovação para o setor. Araújo e Willcox (2018, p. 177 e 185) também entendem que na realidade a indústria eólica global tem fortes raízes locais e regionais, pois é a partir dos mercados locais, que geram a maior parcela da demanda por aerogeradores, que os fabricantes destes equipamentos passam a incorporar competências técnicas e andam por uma curva de aprendizagem, inserindo novas tecnologias e mudando processos para que fiquem mais eficientes e menos custosos, tornando-se competitivos e participando ativamente de um ambiente dinâmico de concorrência mundial.

Neste cenário, os dez maiores fabricantes do setor encontram-se no GRÁFICO 8, que apresenta o *market-share* destes dentro da indústria eólica:

GRÁFICO 8 – PARTICIPAÇÃO DE MERCADO DOS DEZ MAIORES FABRICANTES (%)



FONTE: ARAÚJO e WILLCOX (2018, p. 183)

A Dinamarca é um dos países que tem uma presença marcante da energia eólica em seu mercado doméstico, impulsionada pelas políticas públicas, a demanda local teve papel fundamental para o crescimento da empresa Vestas que, sozinha, ocupa a maior parcela de mercado entre as dez fabricantes. Além da demanda, outros fatores que propiciaram seu crescimento foram os incentivos às atividades de P,D&I, a proximidade com a Alemanha e a consolidação com outros fabricantes locais de aerogeradores. Apesar de ser a líder, a empresa não ocupa uma parcela tão grande do mercado em relação às outras, tendo espaço para que outras se consolidem no mercado, “esse processo de consolidação já vem ocorrendo, tanto horizontal, com parcerias e fusões entre os fabricantes, quanto vertical, com alguns fabricantes realizando aquisições estratégicas na cadeia de fornecedores”, como afirma Araújo e Willcox (2018, p. 184). Como pode ser visto pelo gráfico, algumas fusões vêm acontecendo para enfrentar a concorrência no mercado que está em expansão e como tentativa de tornarem-se mais relevantes dentro da cadeia produtiva, como é o caso da GE e da Alstom, empresas norte-americanas que

formaram a GE Energy e a alemã Siemens que se uniu à espanhola Gamesa, formando a Siemens-Gamesa. Estas fusões mostram-se como maneiras de consolidação horizontal dentro da indústria de energia eólica (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 184).

4.4 A ENERGIA EÓLICA PELA LENTE NACIONAL: HISTÓRIA E PERSPECTIVAS

Como os números anteriormente citaram, a América Latina vem crescendo no cenário mundial quanto à sua capacidade instalada, aumentando seu dinamismo nos últimos cinco anos, o que se deve especialmente ao Brasil, maior produtor de energia eólica da região e que representa mais de dois terços do mercado, sendo também um importante ator mundial, pois é um dos cinco países que apresentou o maior crescimento de instalação no ano de 2020 (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 180).

Apesar da mudança ter sido iniciada mundialmente com as crises do petróleo, é a partir dos anos 1990 que o Brasil inicia o incentivo à energia eólica, acompanhando o cenário internacional, que passa a se preocupar com a segurança energética, adotando a flexibilização das matrizes energéticas, passando a investir em fontes alternativas de energia, isso propiciou avanços tecnológicos para o setor eólico devido ao apoio financeiro. Com condições climáticas favoráveis, o Brasil passa a implantar este tipo de energia em seu território, em especial na região do Nordeste brasileiro, que possui ventos propícios à geração (SILVA e VIEIRA, 2016, p. 65 e 66).

Em 1992 houve a instalação do primeiro aerogerador no país, uma turbina de 225 kW foi instalada em Fernando de Noronha, no estado de Pernambuco, sendo uma parceria de um instituto dinamarquês com o Centro Brasileiro de Energia Eólica e a Companhia Energética de Pernambuco. Este foi um marco para o país, pois após isso começaram os estudos e implantação da primeira usina eólica em solo nacional, que foi inaugurada no ano de 1999 no Ceará, na Praia de Taíba, a usina que entrou em operação tinha capacidade de 5 MW, com dez aerogeradores de 500 kW instalados (GOUVÊA e SILVA, 2018, p. 84).

No fim do século XX, o Brasil passou a enfrentar uma crise energética causada pelo baixo regime de chuvas, o que trouxe um reduzido armazenamento de água nos reservatórios das hidrelétricas, como resposta, o governo instituiu o

primeiro programa de larga escala para incentivar o uso e desenvolvimento da energia eólica para o país: o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA), que começou em 2001. O programa visava a instalação de 1050 MW até o fim de 2003, incentivado pelo preço de compra por kWh, assim investidores começaram uma corrida para homologar seus projetos eólicos com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), isso realçou alguns problemas presentes no país: a falta de mão de obra qualificada e a necessidade de importar tecnologia, pois no Brasil havia apenas um fornecedor de equipamentos eólicos (PINTO, MARTINS e PEREIRA, 2017, p. 1087).

Depois deste, em 2004 surge, por meio do Decreto 5.025, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que visa a diversificação da matriz elétrica brasileira, através da produção de energia por fontes alternativas - fonte eólica e biomassa - e por pequenas centrais hidrelétricas, aumentando a participação destas no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN) (NASCIMENTO, MENDONÇA e CUNHA, 2012, p. 644). Previu-se a contratação de aproximadamente 3,3 GW, divididos entre as três fontes alternativas com a implantação do programa. Os bancos públicos responsáveis por apoiar e financiar o projeto foram o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e o Banco do Nordeste do Brasil (BNB). A principal forma para viabilizar estes projetos foi por meio de tarifas incentivadas (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 204), ou como é conhecida por seu termo em inglês, *feed-in tariff*, como explica Melo (2013, p. 136)

O sistema *Feed-in Tariff* é baseado no preço fixo da energia e na receita total variável. Como as tarifas *feed-in* são geralmente muito elevadas, os investidores buscam maximizar a geração da energia. Dessa forma, aerogeradores cada vez maiores tendem a ser construídos. Assim, o uso do potencial local do vento tende a ser maximizado, mas o custo unitário do investimento é alto (MELO, 2013, p. 136).

Este é o modelo mais adotado pelo mundo para incentivar a produção de energia eólica, sendo naturalmente um propulsor de tecnologia. Paralelamente ao programa do PROINFA, o governo brasileiro também passou a desenvolver um novo modelo do “setor elétrico, criando o ambiente regulado para a contratação de energia por intermédio de leilões” (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 207).

Ao contrário de leilões comuns, os leilões de energia começam com um preço máximo que vai caindo ao longo do processo, incentivando a concorrência entre os atores do setor por menores tarifas. No início do PROINFA, o custo de

geração da energia eólica era muito alto, cerca de R\$ 298,00/MWh, valores nada atrativos, que eram muito superiores aos R\$ 100,00/MWh das fontes convencionais de energia. Contudo, houve a redução dos custos com os incentivos do governo, tanto que no primeiro leilão de energia eólica no Brasil, o preço médio de contratação foi de R\$ 148,39/MWh, o que permitiu a contratação de 1,8 GW, representados por 71 projetos eólicos. Este preço competitivo atraiu multinacionais para o país, interessadas em novos mercados, estas investiram em território brasileiro através da implantação de parques e de fábricas de componentes para aerogeradores, algumas das que se instalaram foram a GE, Siemens, Vestas, Suzlon, entre outras (GOUVÊA e SILVA, 2018, p. 85 e 86; NASCIMENTO, MENDONÇA e CUNHA, 2012, p. 644; PINTO, MARTINS e PEREIRA, 2017, p. 1087).

Entretanto, Melo (2013, p. 137) estabelece uma crítica quanto ao modelo de leilões brasileiro, apesar de diminuir os preços e gerar competitividade, esse sistema acaba por minimizar o investimento, pois com o menor preço, os investidores acabam por implantar aerogeradores menores ou um menor número de aerogeradores por parques. Assim o potencial do vento acaba não sendo maximizado, os geradores menores com pás maiores - mais baratos - “operam com maior frequência perto da capacidade nominal do que os maiores. Isso significa menor relação MW por área local e maior fator de capacidade” (MELO, 2013, p. 137), o que, diferentemente das tarifas incentivadas, não trará o uso de melhores tecnologias e maior eficiência na produção.

Deste modo, o desenvolvimento da indústria eólica nas duas primeiras décadas do século XX deve-se a três pontos: o financiamento do setor público para a instalação de parques; os mecanismos de indução da demanda, representados pelo PROINFA e pelo sistema de leilões e as “regras de localização associadas ao financiamento dos parques no BNDES” (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 203).

Por ser um setor estratégico, a indústria de energia necessitava de uma fonte que fosse alternativa à fonte predominante brasileira, que é a energia hidrelétrica. Os períodos de crise hídrica levaram a essa mudança, sendo a energia eólica a que mais cresceu nos últimos anos, devido à sua característica complementar ao sistema predominante, pois os períodos em que há os menores regimes de chuva coincide com as estações de maior incidência de ventos no Brasil (NASCIMENTO, MENDONÇA e CUNHA, 2012, p. 644; GOUVÊA e SILVA, 2018, p.

88). As vantagens brasileira para o crescimento deste setor encontram-se na favorável velocidade média dos ventos - entre 8,5 m/s no Nordeste e 7 m/s no Rio Grande do Sul -, as condições de financiamento e as circunstâncias propiciadas pelos leilões dentro do mercado regulado, que levaram aos preços competitivos da energia eólica, ficando atrás apenas do preço da energia hidrelétrica, atraindo atores internacionais e desenvolvendo a indústria eólica (MELO, 2013, p. 126 / GOUVÊA e SILVA, 2018, p. 83).

Com isso, o estímulo aos investimentos e o crescimento da demanda levaram a energia eólica a ser a segunda fonte mais competitiva do país, ficando atrás apenas da geração hidrelétrica (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 209). Em 2020, foram investidos US\$ 4 bilhões, cerca de R\$ 20,6 bilhões neste setor, o que representou quase a metade - 45% - de todo o investimento em energias renováveis dentro do país, isso permitiu um crescimento de 14,89% da potência instalada em relação ao ano de 2019, o que significa 17,75 GW de potência eólica instalada, representada por 686 usinas (ABEEÓLICA, 2021). O que ainda é muito inferior ao potencial estimado para o país no GWEC de 2010, que estipulava um potencial de 350 GW para o Brasil. Esse número representaria três vezes a demanda do país por energia (NASCIMENTO, MENDONÇA e CUNHA, 2012, p. 645), o que não é um número palpável para os próximos anos, mas como mostra o relatório da Abeeólica (2021), a capacidade instalada de 2020 já consegue suprir 94,40% da energia consumida no Nordeste brasileiro.

4.5 A INDÚSTRIA DE ENERGIA EÓLICA NA FORMAÇÃO DE UM SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO BRASILEIRO

Com o grande potencial de geração de energia eólica no Brasil, uma indústria local começou a se formar, devido às vantagens comparativas em relação a outros países. Melo (2013, p. 125 e 129) aponta que “a trajetória tecnológica, o aumento na altura dos aerogeradores, de 50 m para 100 m, o diâmetro das pás dos rotores, somados a especificidades dos ventos brasileiros” permitem que o país seja um atrativo para empresas estrangeiras investirem no setor, até mesmo a remuneração menor, devido aos preços mais baixos comparados aos outros países não impedem os entrantes, que querem conquistar uma maior parcela do mercado nacional, que vem presenciando cada vez mais uma competição mais acirrada.

Por mais que o crescimento seja cada vez mais significativo, o potencial eólico ainda não é suficientemente explorado, mostrando que há muitos campos a serem investidos. Por ser uma área estratégica, o governo brasileiro, vendo que esta indústria começaria a crescer e a demanda por componentes eólicos aumentaria, implantou o Plano de Nacionalização Progressiva (PNP-Finame) como uma forma de nacionalizar a produção de equipamentos e insumos utilizados nessa cadeia produtiva. Assim, o BNDES acaba por se tornar o banco que centraliza o financiamento do setor eólico, sendo necessário que este, como principal financiador das fontes renováveis, repensasse seus processos internos, adotando uma inovação que aumentasse “a potência de sua política de credenciamento dos aerogeradores” (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 209; GOUVÊA e SILVA, 2018, p. 90).

Este fato mostra a importância de um dos atores essenciais na formação de um sistema de inovação em uma nação: o Estado. Este agente aparece como o responsável por conceder crédito de longo prazo que tem o objetivo de estimular a inovação, como também interfere através de tributos sobre equipamentos relacionados ao setor eólico, como foi o caso do governo brasileiro que desonerou o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) que incidiu sobre equipamentos eólicos e “o abatimento de 50% das tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição para usinas com até 30 MW de capacidade” (GOUVÊA e SILVA, 2018, p. 90). Portanto, é um ator que age através de bancos públicos, como o BNDES, que financia o desenvolvimento do setor no país, incentivando que empresas, tanto estrangeiras como nacionais - como é o caso da WEG, importante *player* brasileira que surgiu incentivada pelas políticas de governo - tenham condições favoráveis de adquirir equipamentos e desenvolver parques eólicos, como também impulsionando a pesquisa (GOUVÊA e SILVA, 2018, p. 92).

Por tratar-se de um setor altamente tecnológico destaca-se a participação das instituições e laboratórios de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P,D&I), Alguns programas, como o Plano de Apoio Conjunto Inova Energia, que tem apoio do BNDES e da Aneel, tem o objetivo de pesquisar as condições climáticas relacionadas ao regime de ventos do país para desenvolver equipamentos e criar sistemas de simulação e controle, sendo uma ferramenta de apoio a empresas para que desenvolvam tecnologias que melhorem o aproveitamento deste tipo de energia (GOUVÊA e SILVA, 2018, p. 98). Neste quesito, o domínio nacional é ainda muito pequeno, pois no que concerne à tecnologia, as empresas transnacionais são as

dominantes, pois têm a base do conhecimento de todo o processo de produção estando bem à frente de possíveis fornecedores de equipamentos nacionais. Melo (2013, p. 136) mostra até que no início, quando as empresas estrangeiras entraram no mercado brasileiro, a tecnologia dos equipamentos era secundária, pois os custos eram mais baixos, apenas a partir de 2010 é que equipamentos de ponta começaram a entrar no país.

Araújo e Willcox (2018, p. 187) usam o caso dos EUA e da China para apresentar que é através de políticas de incentivo de demanda por aerogeradores e por políticas do lado da oferta - com tecnologia e impulso à produção - é que se desenvolve uma indústria eólica nacional. Esses mecanismos propiciam para que processos de aprendizagem como *learning-by-doing*, *by adapting*, *by engineering* e *by deploying* aconteçam dentro do setor, levando a ganhos de produtividade de longo prazo e retornos crescentes de escala, o que o torna ainda mais competitivo com outras fontes de energia e atrai mais investimentos em um cenário dinâmico concorrencial. Por fim, sobressai o papel da engenharia para o setor, que tem forte presença tanto dentro das empresas como nos institutos de pesquisa, como apontam os autores

O domínio da engenharia relacionada ao pacote de conversão eletromecânica de energia e à capacidade de projeto dos aerogeradores constitui o elo mais relevante da cadeia produtiva do ponto de vista da sofisticação tecnológica e da evolução dos aerogeradores. Por todos esses motivos, dispensa-se grande atenção a esse segmento na estruturação das políticas de adensamento produtivo local [...]

Exige-se das empresas capacidade de engenharia para projeto das pás e competências em engenharia mecânica e de cálculo estrutural, da ciência dos materiais, técnicas avançadas de modelagem e simulação de regimes turbulentos e de controle e automação para o movimento do sistema de *pitch* (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 173 e 174).

Com o sistema de leilões, muito capital estrangeiro entrou no país, por meio das multinacionais do setor eólico, com as menores barreiras à entrada neste segmento, as fabricantes trouxeram seu conhecimento do processo e investimentos em P,D&I, expandindo sua capacidade produtiva em um país que tem muito potencial de crescimento. Estas fabricantes, que são os atores privados do sistema setorial de inovação passam a se interessar pelas projeções de mercado e pelas premissas conjunturais do país, sem deixar de lado a conjuntura mundial. Com essas entrantes, que podem ser representadas por empresas como a GE, Suzlon e Gamesa - que estabeleceram plantas industriais no país - a competição dentro do

segmento vem aumentando cada vez mais e a produção aumenta, com cada vez mais parques instalados em território nacional. Junto com elas, tecnologia de ponta entra no país, bem como o conhecimento de novos processos, as empresas que dominam essas tecnologias têm um grande diferencial estratégico em relação às outras empresas, pois um aerogerador não é como uma commodity, tem tecnologia e um processo de produção técnico complexo, não tendo substitutos perfeitos, portanto não podem ser feitas escolhas aleatórias e não se pode trocar facilmente de fornecedor (NASCIMENTO, MENDONÇA e CUNHA, 2012, p. 646; MELO, 2013, p. 131). Deste modo, Araújo e Willcox (2018, p. 172) mostram que os fabricantes são especializados

Em geral, os fabricantes de aerogeradores especializam-se na capacidade de engenharia de projeto e desenvolvimento desse pacote. É comum que a fabricação dos demais pacotes aerodinâmicos e de sustentação seja terceirizada, em especial a do pacote de sustentação, por sua menor complexidade técnica. A gestão das cadeias de fornecimento é, assim, aspecto crítico da atividade dessas empresas (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 172).

A presença tanto de empresas estrangeiras quanto nacionais traz benefícios socioeconômicos, o mais visível entre eles é o aumento de postos de trabalho, como apresenta a Abeeólica (2021), a cada MW instalado, 11 novos postos de trabalho são gerados, trazendo transformação social, melhorando a qualidade de vida em locais onde são instaladas usinas eólicas, para os proprietários de terra benefícios também são gerados, pois eles arrendam suas terras para a colocação de torres e ainda podem manter suas plantações ou criação de animais. Além do impacto na renda regional, há impacto na renda nacional, pois a cada R\$ 1,00 investido neste tipo de energia, retorna-se um impacto de R\$ 2,90 no PIB, sem contar os benefícios que a geração de energia por uma fonte limpa traz ao país.

Entretanto, há obstáculos que impedem que o setor se desenvolva plenamente no país, que interferem em especial na cadeia de fornecedores. Os custos nacionais ainda são muito elevados, favorecendo a importação de equipamentos, eventuais pressões de aumento de preços e indisponibilidade de insumos geram problemas à cadeia produtiva, bem como irregularidades nas contratações, que causam períodos de ociosidade e outros com forte concentração da demanda. Ademais, há uma certa incerteza em relação ao financiamento de projetos e incentivos fiscais, não ficando claro aos investidores que pensam a longo

prazo se é seguro investir em um país com tantas mudanças de regras, como também problemas relacionados ao licenciamento ambiental e à disponibilidade de linhas de transmissão, como pode ser exemplificado nos primeiros parques que foram instalados no país, que ficaram prontos sem terem um sistema para transmitir energia a outras regiões (GOUVÊA e SILVA, 2018, p. 94 e 97).

Com isso, nota-se que a indústria de energia eólica exibe diferentes graus de maturação em todo o mundo e no Brasil ela é ainda muito imatura, pelo seu caráter recente. Essa cadeia produtiva precisa ser estimulada, pois ainda não está completa, embora exista um potencial muito grande, os componentes inovadores precisam ser importados e não há escala suficiente para suprir a demanda. Esse espaço para a evolução dos equipamentos e desenvolvimento do mercado eólico é uma questão não apenas nacional, mas também mundial, pois o segmento eólico é ainda inicial em todo o mundo, não atingindo seu ápice quanto à tecnologia, tendo muito espaço para evoluir. Assim, não se podem criar fortes barreiras à entrada nos países, por mais que se queira proteger a indústria nacional, pois os investimentos e a competitividade são necessários para estimular uma corrida por inovações e consequente desenvolvimento (MELO, 2013, p. 132, 136 e 139).

Embora não tenha um sistema de inovação consolidado, o país precisa adotar estratégias para não desestimular uma indústria já instalada e que tem certo nível de competitividade, pois atraiu uma boa quantidade de fabricantes de aerogeradores (GOUVÊA e SILVA, 2018, p. 94). Como afirmam Nascimento, Mendonça e Cunha (2012, p. 164), o Brasil procura desenvolver seu setor por meio de políticas, planos, programas e ações para aumentar a oferta de energia e estimular a demanda, porém estas políticas setoriais precisam buscar um crescimento mais acelerado no que tange à produção de energia eólica, para utilizar o potencial e as vantagens brasileiras de maneira mais plena, atraindo tanto investimentos quanto pesquisa que tragam novas tecnologias. Se o país aumentar seus investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação pode desenvolver sua rota tecnológica, em uma lógica de *path-dependence*, aproximando-se de países que já atingiram uma maturidade no setor de eólico, chegando até mesmo a alcançar uma capacidade de produção superior à demanda interna, tendo em vista a possibilidade de se tornar um local de produção e exportação de equipamentos eólicos em potencial. Essas vantagens só são vistas no Brasil dentre os países da América Latina, pois os fabricantes não encontram escala suficiente quanto aos

ganhos de escala propiciados pela demanda brasileira (MELO, 2013, p. 133; ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 172).

Em síntese, Melo (2013, p. 134) baseia-se nas ideias de Schumpeter quando diz que “uma indústria forte, consolidada, inovadora e exportadora só se sustenta em uma situação de competição”, trazendo isso para a o sistema setorial eólico, os investimentos de capital estimulam a concorrência e, em um momento em que esta indústria está em uma fase inicial, que precisa ser consolidada, as importações são necessárias para trazer competitividade, levando à seleção dos produtos e processos mais inovadores que trarão custos menores e melhor qualidade de produtos. Ademais, os países que já se encontram com um mercado eólico mais relevante e bem estabelecido tiveram destaque no estabelecimento de uma indústria local. Notou-se a importância da participação do setor público, bem como “a articulação das políticas energéticas a políticas industriais e tecnológicas” (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 215). Como já citado anteriormente, a indústria eólica mundial é reflexo das indústrias locais e regionais, uma demanda local que é induzida de forma sustentável é condição para o desenvolvimento da indústria e do próprio uso da energia eólica e é esse desenvolvimento que “viabilizou ganhos de produtividade e redução dos custos de geração da energia eólica” (ARAÚJO e WILLCOX, 2018, p. 215).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas econômicos transformam-se continuamente devido às mudanças de paradigmas dentro da sociedade. É fato que um dos debates que mais recebe atenção no século XXI é quanto à questão ambiental, os processos produtivos já não podem mais ser realizados como era antigamente, visando o crescimento econômico e a saída na frente de alguns países, hoje a economia capitalista percebe que o individualismo e o capital estão perdendo espaço de centro das discussões, as empresas veem que os consumidores são cada vez menos atraídos por produtos que sejam apenas de “última geração”, mas que não tenham compromisso ambiental. Com as três primeiras revoluções industriais, o que se buscava era apenas um diferencial ligado a novas técnicas e novas tecnologias, hoje, além de inovação, é preciso que se respeite a natureza.

O setor de energia encontra-se dentro desse contexto como um segmento estratégico, pois é intrínseco ao sistema produtivo e ao desenvolvimento da humanidade, percebe-se isso nitidamente nas revoluções da indústria, onde as suas transformações pautaram-se pelo uso de diferentes fontes de energia. Por estas características, é um setor que ocupa papel de destaque quando são estudadas tanto questões ambientais quanto questões inovativas, se na indústria de energia são adotadas inovações, toda a sociedade sente as consequências, com preços mais baratos, maior eficiência e produtividade e há reflexos no meio ambiente como um todo, com a amenização de liberação de gases poluentes e futuras catástrofes ambientais.

Neste ambiente, percebe-se cada vez mais crescer a concorrência entre as fontes de energia, sendo notável o aumento da participação de fontes de energias renováveis, que trazem um impacto menor à natureza. Dentro disto, a energia eólica destaca-se como uma das energias que mais cresce em todo o mundo, pois apesar de um custo inicial de instalação alto, tem um grande potencial de geração que complementa as fontes convencionais de energia. O Brasil é um dos países que possui um dos maiores níveis de crescimento e tem perspectivas de aumentar sua capacidade instalada futuramente, devido às suas condições ambientais favoráveis e seus custos menores de compra de energia nos leilões.

Conhecendo o potencial de geração brasileiro pela fonte eólica, é necessário o desenvolvimento de uma indústria forte, que seja bem estruturada desde o início.

Para que isso aconteça, o estudo dos Sistemas Nacionais de Inovação contribui no planejamento ao entender que para que uma nação alcance níveis altos de inovação que possam transformar endogenamente o ambiente econômico, é preciso uma interação articulada entre três atores que fundamentam todo o sistema de inovação: o setor público, representado pelo Estado e governos locais; o setor privado, compreendido pelas empresas; e os institutos e laboratórios de pesquisa e desenvolvimento. É por meio do intercâmbio de conhecimento entre estes agentes, com o incentivo por meio de fomento políticas públicas dos governos, que os institutos de ciência podem desenvolver tecnologias que trazem inovação que podem ser incorporadas em processos produtivos dentro de empresas, que cedem seu espaço para a incorporação e apoiam financeiramente.

O Brasil é um país que começou esta relação como tentativa de construir um Sistema Nacional de Inovação, entretanto há muitos gargalos dentro da economia brasileira, com muitas falhas do setor público e pouco apoio de empresas aos institutos de pesquisa, fazendo com que o país tenha um sistema não consolidado, que tem muitos espaços a serem preenchidos. A indústria de energia eólica, dentro deste contexto, é ainda muito recente e por isso possui diferentes graus de maturação em todo o mundo, sendo que no Brasil é ainda muito imatura. Por este motivo, apesar de ser uma indústria com potencial de trazer inovação ao país, por meio de seus processos e equipamentos que adotam cada vez mais tecnologias, ela por si só, não tem força o suficiente para transformar todo o setor de inovação brasileiro.

É preciso primeiro, haver uma mudança nos atores essenciais dentro do sistema e em suas relações, com uma articulação melhor, é possível que o sistema de inovação brasileiro torne-se mais bem estruturado e dentro disto, uma indústria de energia eólica pode se desenvolver mais livremente, sendo um segmento em potencial que melhore a competitividade do país dentro de um ambiente dinâmico, contribuindo para que o Brasil alcance o crescimento econômico e desenvolvimento social em um processo de *catching-up*.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA (2021). **Associação Brasileira de Energia Eólica**. Relatório Anual 2020. São Paulo. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/energia-eolica/dados-abeeolica/?ano=2021>. Acesso em: 21 abril 2022.

ARAÚJO, B. P. de; WILLCOX, L. D. **Reflexões críticas sobre a experiência brasileira de política industrial no setor eólico**. Disponível em: BNDES Setorial, n. 47, Rio de Janeiro, 2018.

BARROS, E. V. de; **A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica**. Revista ENGEVISTA, v. 9, nº1, p.47-56, junho 2007.

BRONZATTI, F. L; NETO, A. I. **Matrizes Energéticas no Brasil: Cenário 2010-2030**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, outubro 2008. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_541_11890.pdf. Acesso em 25 out 2021.

CAMPOS, B; RUIZ, A. U; **Padrões Setoriais de Inovação na Indústria Brasileira**: artigo científico. Disponível em: Revista Brasileira de Inovação, n. 8, Rio de Janeiro, 2009.

COSTA, R. C. da; PRATES, C. P. T. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado**. BNDES Setorial. Rio de Janeiro, nº21, p. 5-30, fevereiro 2005. Disponível em https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/?locale=pt_BR. Acesso em 28 set. 2021.

DUPONT, F. H; GRASSI, F; ROMITTI, L. **Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 9, nº1, Ed. Especial, p. 70-81, agosto 2015.

EPE. **Balanco energético nacional 2021**: Ano Base 2020. Rio de Janeiro, 2021. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 15 nov. 2021.

FUCK, M, P; VILHA, A. M. **Inovação Tecnológica: da definição à ação**: artigo científico. Disponível em: Revista Contemporâneos, n. 9, 2012.

GONZÁLEZ, R. **Matriz energética mundial y el cambio climático: estado actual**. 2020. Disponível em: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/15654>. Acesso em 02 nov. 2021.

GOUVÊA, R. L. P. de; SILVA, P. A. da. **Desenvolvimento do setor eólico no Brasil**. Disponível em: Revista BNDES, v. 25, n. 49, Rio de Janeiro, 2018.

GWEC - **Global Wind Energy Council**. Março 2021. Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>. Acesso em: 21 abril 2022.

HASENCLEVER, L. FERREIRA, P. M. Estrutura de mercado e inovação. In: KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. (Orgs.). **Economia industrial: Fundamentos Teóricos e Práticas no Brasil**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

IEA. **International Energy Agency (IEA)**. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>. Acesso em 15 nov. 2021.

JACOSKI, C. A; DALLACORTE, C; *et al.* **Análise do desempenho da inovação regional - um estudo de caso na indústria**: artigo científico. Disponível em: Revista de Administração e Inovação, v. 11, n. 2, São Paulo, 2014.

JUNIOR, A. P. S. *et al.* **O impacto nas variações das matrizes energéticas e uso da terra: estudo sobre a eficiência ambiental do G20**. Revista Eletrônica de Administração, Porto Alegre, Edição 86, nº 2, p. 306-322, maio/agosto 2017. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/read/article/view/62781>. Acesso em 04 nov. 2021.

LUNDEVALL B. **National Business Systems and National Systems of Innovation**. Disponível em: International Studies of Management and Organization, 29, 1999.

LUNDEVALL, B. **National Innovation Systems Analytical Concept and Development Tool**. Disponível em: Dynamics of Industry and Innovation: Organizations, networks and systems, Copenhagen, 2005.

MACEDO, C. A. A. ALBUQUERQUE, A. A. de. MORALLES, H. F. **Análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto eólico com simulação Monte Carlo e avaliação de risco**: artigo científico. Disponível em: Gestão & Produção, vol.24, nº4, São Carlos, 2017.

MATOS, G. P. de; TEIXEIRA, C. S. **Uma análise sobre o Sistema Nacional de Inovação do Brasil**. Disponível em: Revista Eletrônica do Alto Vale do Itajaí - REAVI, v. 08, n. 13, 2019.

MELO, E. **Fonte eólica de energia: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade**: artigo científico. Disponível em: Estudos Avançados, vol.27, nº77, São Paulo, 2013.

NASCIMENTO, T. C; MENDONÇA, A. T. B. B. de; CUNHA, S. K. da. **Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil**: artigo científico. Disponível em: Cadernos EBAPE.BR, v. 10, n. 3, artigo 9, Rio de Janeiro, 2012.

NEUBERGER, D; MARIN, S. R; **A problemática do Sistema Nacional de Inovação Brasileiro (2013)**: artigo científico. Disponível em: http://coral.ufsm.br/seminarioeconomia/images/anais_2013/1_A-PROBLEMTICA-

[DO-SISTEMA-NACIONAL-DE-INOVAO-BRASILEIRO.pdf](#). Acesso em 28 de set. 2021.

NOGUEIRA, L. A. H; CARDOSO, R. B. **Perspectivas da Matriz Energética Mundial e do Brasil**. Revista O Setor Elétrico, São Paulo, Edição 32, p. 33-43, novembro 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/273773356_Perspectivas_da_Matriz_Energética_Mundial_e_do_Brasil. Acesso em 03 nov. 2021.

OECD. **National Innovation Systems (1997)**. Disponível em: <https://www.oecd.org/science/inno/2101733.pdf>. Acesso em 17 de dez. 2021.

Panorama de energias renováveis: setor industrial e América latina. São Paulo: FGV Eaesp, novembro 2016.

PFITZNER, M; SALLES-FILHO, S. L. M; BRITTES, J. L. P. **Análise da dinâmica de P&D&I na construção do Sistema Setorial de Inovação de energia elétrica para o Brasil**: artigo científico. Disponível em: Revista Gestão & Produção, v. 21, n. 3, 2014.

PINTO, L. I. C; MARTINS, F. R; PEREIRA, E. B. **O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais**: artigo científico. Disponível em: Revista Ambiente & Água, v. 12, n. 6, Taubaté, 2017.

POSSAS, M. Concorrência Schumpeteriana. In: KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. (Orgs.). **Economia industrial: Fundamentos Teóricos e Práticas no Brasil**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

SANTOS, R. R. dos. SCHRAMM, F. ALCOFORADO, A. F. P. MEDEIROS, D. D. SICSÚ, A. B. **O uso de energia oriunda de fontes renováveis nas indústrias brasileiras: uma questão de sustentabilidade**. Disponível em: XIII SIMPEP, Bauru, 2006.

SBICCA, A. PELAEZ, V. **Sistemas de Inovação**. In: Victor Pelaez e Tamás Szmerecsányi (org). Economia da Inovação Tecnológica. São Paulo: Editora Hucitec, 2006.

SILVA, A. M; VIEIRA, R. M. F. **Energia eólica: conceitos e características basilares para uma possível suplementação da matriz energética brasileira**: artigo científico. Disponível em: Revista Direito Ambiental e Sociedade, v. 6, n. 2, 2016.

SILVEIRA, A. D; CARVALHO, A. de P; *et al.* **Análise do Sistema Nacional de Inovação no setor de energia na perspectiva das políticas públicas brasileiras**: artigo científico. Disponível em: Cadernos EBAPE.BR, v.14, Edição Especial, Artigo 6, Rio de Janeiro, 2016.

TOLMASQUIM, M. T; GUERREIRO, A; GORINI, R. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. Novos Estudos CEBRAP, v. 79, novembro 2007. Disponível em <https://www.scielo.br/j/nec/a/HHYKXDgchzv4n4gNfRhqnwK/?lang=pt#:~:text=As%20>

[projec3%A7c3%B5es%20apontam%20que%20o,g%3%A1s%20natural%2C%20etanol%20e%20eletricidade](#). Acesso em 28 set. 2021.